

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Zaměření strojírenská technologie

Studijní program B2341 – Strojírenství

## ŽIVOTNOST ELEKTROD U BODOVÉHO SVAŘOVÁNÍ OCELOVÝCH PLECHŮ S POVLAKY

## THE ELECTRODE LIFE DURING SPOT WELDING OF STEEL SHEET METAL.

Martin Franc

**KSP – SM – B36**

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. – *TU v Liberci*

### Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 44

Počet stran příloh: 5

Počet obrázků: 32

Počet tabulek: 8

**Datum:** 26. 5. 2011



**Anotace**  
**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**  
**Katedra strojírenské technologie**  
**Obor strojírenská metalurgie**

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Martin Franc

Téma práce: **Životnost elektrod u bodového svařování ocelových plechů s povlaky.**

**The electrode life during spot welding of steel sheet metal.**

Číslo BP: **KSP – SM – B36**

Vedoucí BP: Doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. – TU v Liberci

**Abstrakt:**

Tato bakalářská práce je zaměřena na kvalitu svarů u ocelového plechu při bodovém odporovém svařování a její ovlivnění v závislosti na elektrických veličinách a parametrech. V této práci jsou popsány základní svařovací parametry, které mají vliv na kvalitu odporových svarů, a způsoby hodnocení kvality bodových svarů destruktivními a nedestruktivními zkouškami. Cílem práce bylo vypracovat postup pro hodnocení vlivu povlaku na bázi Zn na časové průběhy základních veličin svařovacího procesu. Na základě zpracovaných dat bylo provedeno srovnání z celého průběhu svařování pro určení velikosti svarové čochy. Nakonec bylo v experimentální části provedeno hodnocení vybraných veličin v časové závislosti, které se s pozvolna rostoucím opotřebením elektrod lišily.

**Abstract:**

This bachelor work is focused on the quality of welds in steel plate for Resistance spot welding and its effect depending on the electrical variables and parameters. The paper describes the basic welding parameters that affect the quality of resistance welds, and methods to evaluate the quality of spot welds destructive and non-destructive testing. The aim was to develop a procedure for evaluating the impact of zinc coating based on the time course of basic welding process variables. Based on the processed data was compared with the entire process of welding the weld to determine the size of the lens. Finally it was in the experimental section, an evaluation of selected variables in the time dependence, with gradually increasing electrode wear different.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 26. května 2011

.....

Martin Franc  
Úpská 535  
54102 Trutnov 4

Rád bych poděkoval doc. Ing. Heinzi Neumannovi za věcné návrhy a rady, bez nichž by práce neměla tuto podobu.



## OBSAH

Seznam použitých zkratek a symbolů .....	7
1. ÚVOD .....	8
2. ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ .....	9
2. 1. Bodové svařování.....	10
2. 2. Geometrie bodového svaru .....	12
2. 3. Elektrody pro bodové svařování .....	13
2. 4. Životnost elektrod .....	15
3. PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ .....	16
3. 1. Měřitelné veličiny svařovacího procesu .....	21
3. 1. 1. Elektrické veličiny .....	22
3. 1. 2. Mechanické veličiny .....	22
3. 2. Kvalita bodových svarů .....	22
3. 2. 1. Destruktivní zkoušky .....	23
3. 2. 2. Nedestruktivní zkoušky .....	28
4. CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....	32
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE.....	33
5. VYBAVENÍ SVAŘOVACÍHO PRACOVISTĚ .....	33
5. 1. Použitý materiál a příprava .....	35
5. 2. Průběh experimentu .....	35
5. 3. Záznam dat.....	36
6. VYBAVENÍ PRACOVISTĚ PRO ZKOUŠKY – ODLUPOVACÍ, STŘIHEM .....	41
7. ZÁVĚR .....	42
8. POUŽITÁ LITERATURA .....	43

**Seznam použitých zkratk a symbolů**

$U_1, U_2$	napětí	[V]
$I_1, I_2$	svařovací proud	[A]
$P_s, F$	přítlačná síla	[N]
$d_s, d_{1,2}$	průměr svaru	[mm]
$d_E$	průměr elektrody	[mm]
$t_1, t_u$	tloušťka materiálu	[mm]
$P_l, P_u$	průvar svarové čočky	[mm]
$d_{el}, d_{cu}$	průměr vtisku elektrod	[mm]
$d_n$	průměr čočky	[mm]
$e_l, e_u$	hloubka vtisku elektrody	[mm]
$x$	mezera mezi plechy	[mm]
$a$	místo měření elektrody	[mm]
$d_{HAZ}$	průměr tepelně ovlivněné oblasti	[mm]
$P_{HAZ l}, P_{HAZ u}$	průnik tepelně ovlivněné oblasti	[mm]
$t$	svařovací čas	[ms]
$t_{svař.}$	svařovací čas	[s]
$Q$	celkové množství tepla	[J]
$R_c$	celkový elektrický odpor	[Ω]

## 1. ÚVOD

Odporové bodové svařování je díky širokému využití a vysoké efektivitě jednou z nejpoužívanějších technologií pro spojení strojních částí i celých konstrukcí. Jde tedy o nenahraditelnou technologii. Je to technologie, která nachází uplatnění především ve velkosériové a hromadné výrobě. Odporové svařování je elektro - mechanický proces, při kterém vzniká svarový spoj působením tlaku za současného průchodu svařovacího proudu. Výhodou tohoto svařování je také vlastnost, která nevyžaduje přídavný materiál, protože svar vzniká roztavením vlastního materiálu svařovaných dílců. Je proto zřejmé, že bylo zavedeno v automobilovém průmyslu. Při výrobě automobilů se také začaly touto technologií svařovat vysokopevnostní ocelové plechy, které plní svůj význam především v deformáčních zónách karosérie automobilu. Takové zpracování využívá i česká automobilová společnost ŠKODA a.s. V následujícím textu 2.1 v Tab. 2, lze porovnat různé svařovací metody jednotlivých technologií při výrobě karoserií automobilů.

U bodového svařování mohou být za určité nevýhody pokládány nerozebíratelnost spoje, deformace či vznik vnitřního pnutí, mimo jiné potřeba kvalifikovaných dělníků a operátorů. Pro správnost procesu zhotovení kvalitních svarů je potřeba stanovit a zároveň kvalifikovat postup svařování a určit vyhovující svařovací parametry. V průběhu svařovacích cyklů se tyto parametry mění zejména opotřebením a životností elektrod.

Tato bakalářská práce navazuje na výzkumné práce realizované na katedře strojírenské technologie TUL a některých diplomových prací [2, 3, 7], které se zabývaly monitorováním základních elektrických i mechanických veličin svařovacího procesu u bodového odporového svařování plechů s povlaky a plechů vysokopevnostních. V práci je kladen důraz na sledování vlivů opotřebení elektrod, na průběh vybraných veličin svařovacího procesu a výslednou kvalitu svarů při svařování ocelového plechu s povlakem EN 10152 – DC05 + ZE 50/50 – B – PO.

Hlavním cílem práce bylo stanovit souvislosti mezi časovými průběhy elektrických veličin a výslednou kvalitou svaru během realizace zkoušky životnosti elektrod.



## 2. ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ

Principem odporového bodového svařování je využití tepla, které vzniká působením elektrického odporu, při průchodu proudu svařovaným materiálem. Toto teplo vzniká jak ve svařovaném materiálu, tak mezi materiály, které mají být svařeny. Působením vznikajícího tepla přechází materiál nejprve do tvárného stavu a u bodového svařování se místně taví. Tlak je pro všechny druhy svařování nezbytný. Typickým znakem tohoto procesu jsou rychlost svařování a možnost svařování bez přídavného materiálu. [1]

V první řadě je nutno říci, které materiály lze touto metodou svařovat. Odporově svařovat lze prakticky všechny druhy ocelí, a to i pozinkované nebo jinak pokovené, jako jsou součásti karoserie aut nebo drátěná pletiva. Bodují se i plechy z hliníku a jeho slitin, ale i materiály méně používané, jako titan nebo zirkon. Velkou výhodou tohoto svařování je fakt, že lze dosáhnout velkých úspor, zejména materiálových i časových. [4]

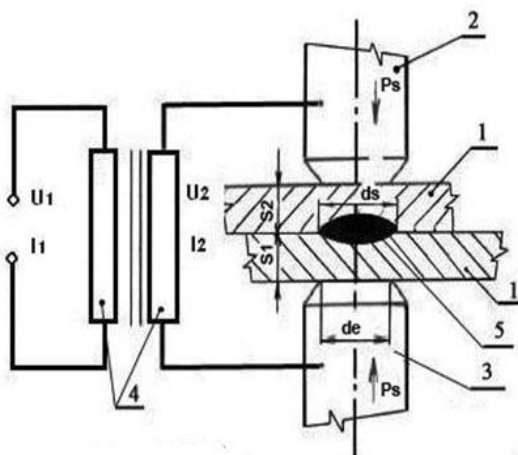
**Tab. 1:** Přehled metod odporového svařování a jejich číslování [5].

Číslo metody	Český název	Anglický název
2	Odporové svařování	Resistance welding
21	Bodové odporové svařování	Spot welding
211	Nepřímé bodové svařování	Indirect spot welding
212	Přímé bodové svařování	Direct spot welding
22	Švové odporové svařování	Seam welding
221	Švové svařování s přeplátováním	Lap seam welding
222	Švové svařování s rozválcováním	Mash seam welding
225	Stykové švové svařování s páskem	Foil butt-seam welding
226	Přeplátované švové svařování s páskem	Seam welding with strip
23	Výstupkové svařování	Projection welding
231	Nepřímé výstupkové svařování	Indirect projection welding
232	Přímé výstupkové svařování	Direct projection welding
24	Odtavovací stykové svařování	Flash welding
241	Odtavovací stykové svařování s předehřevem	Flash welding with preheating
242	Odtavovací stykové svařování bez předehřevu	Flash welding without preheating
25	Stlačovací stykové svařování	Resistance butt welding
291	Vysokofrekvenční odporové svařování	HF resistance welding ( high frequency)

Základní rozdělení metod odporového svařování je provedeno v normě ČSN EN ISO 4063 Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování [5]. Tato norma je českou verzí evropské normy EN ISO 4063 a stanovuje přehled metod svařování, příbuzných metod a jejich číselné značení.

## 2. 1. Bodové svařování

Bodové svařování je technologie, při které se svařují zejména plechy. Schéma odporového svařování je na obr. 1.



**Obr. 1:** Odporové bodové svařování [6]

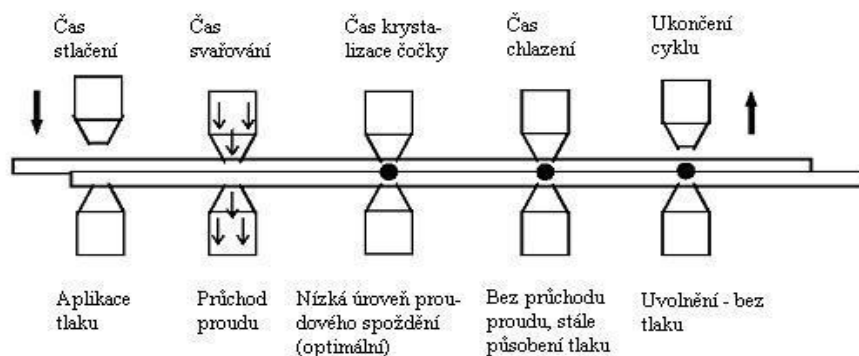
1 – svařované součásti, 2 – pohyblivá elektroda, 3 – pevná elektroda,

4 – svařovací transformátor, 5 – svar,

$d_s$  – průměr svaru,  $d_E$  – průměr elektrody,  $P_s$  – přitlačná síla

Síla působí na svar nepřetržitě po celou dobu procesu. Elektrody jsou především vyráběny na bázi mědi a slitin mědi a jsou většinou uvnitř chlazeny vodou. Tím je dosaženo jemné krystalizace ve svaru a lepších mechanických vlastností. K časovému omezení proudů se používá elektromagnetických stykačů od 0,02 s do 0,1 s nebo v poslední době rozšířených elektronických prvků.

Průběh cyklu zhotovení bodového svaru je na obr. 2. Samotný děj začíná tím, že se svařovaný materiál přiloží mezi 2 elektrody na nepohyblivou (zpravidla spodní v horizontálním provedení) elektrodu v požadovaném místě spoje. Nejčastěji se spojují plechy přeplátováním.



**Obr. 2:** Etapy při bodovém odporovém svařování [7]

Svařovací cyklus může být při bodovém svařování buď s jednoduchým průběhem, nebo programový.

U jednoduchého svařovacího cyklu nejprve elektrody stisknou plným tlakem materiál, který má být svařen. Po stisknutí se zapne proud, který začne protékat místem stisku. V místě styku obou materiálů se vlivem odporu vytvoří teplo, které ohřeje materiál na potřebnou teplotu ke svaření. Na to se přeruší proud, ale tlak se ponechá ještě chvíli působit, takže svar je prakticky vykován. Popsaný cyklus se používá pro svařování ocelí menších tloušťek [1].

Programový cyklus je poněkud složitější a používá se při svařování ocelových plechů větších tloušťek nebo při svařování legovaných ocelí. Proces začíná dosednutím elektrod a po dosažení plného tlaku zapnutím proudu, který je nižší než svařovací proud. V této fázi se materiál dostane do tvárného stavu a dojde k dokonalému přiblížení svařovaných částí. Následuje nárůst proudu na plnou hodnotu a k poklesu tlaku elektrod za účelem zvýšení přechodového odporu a tím k urychlení svařovacího procesu. Po vytvoření svaru stoupne tlak opět na plnou hodnotu a za sníženého proudu dojde k žhání. Za stálého tlaku při nulovém proudu dochází k odvodu tepla z místa svaru za účelem lepších vlastností vytvořeného spoje a k urychlení dokončení procesu [6].

Programový cyklus je rozmanitý a jeho průběh se přizpůsobuje daným podmínkám (druh a složení materiálu, povrch, tloušťka a další). Nastavení tohoto průběhu má zásadní vliv na postupný vznik svarové čochy, metalurgické změny a s tím spojené vlastnosti bodového svaru.

Každá bodová odporová svářečka má dvě části: elektrickou a mechanickou. Svařovací elektrody, sekundární obvod a vinutí transformátoru jsou většinou z mědi nebo materiálů s převážným podílem mědi, která je nejvhodnějším materiálem. Svařovací proud prochází mědí bez velkých ztrát při minimálním odporu. Na vyvinutí tlaku elektrod bývá pneumatický, motorický nebo hydraulický pohon.

Podle použití se bodové svařovací stroje dělí na stabilní, závěsné a speciální. Závěsné bodovky se používají ke svařování velkých a objemných plechových výrobků, které nelze mechanicky dostat do polohy, kterou vyžaduje stabilní odporová svářečka. Příkladem je svařování karosérií automobilů. Tyto svařovací stroje jsou však z velké míry nahrazovány roboty se svařovacími bodovacími kleštěmi, které zaujmají většinový podíl především v automobilovém průmyslu.

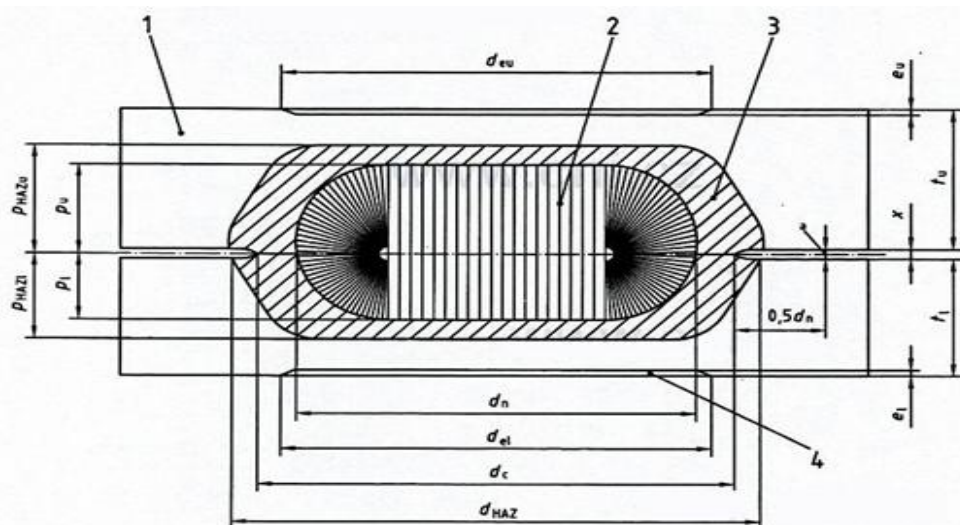
Bodové svařování má i při nástupu jiných metod spojování plechů v automobilovém průmyslu nezastupitelnou roli. V tab. 2 je srovnání jednotlivých technologií použitých při výrobě karosérií u automobilů ŠKODA.

**Tab. 2:** Množství a druh svarů na jednotlivých modelech automobilů Škoda. [8]

Metoda svařování	Množství	Octavia	Fabia	Superb	Octavia II	Roomster
Bodové svary	ks	4400	4500	6201	5000	5217
MIG pájení	m	-	4,0	7,4	2,5	2,0
MAG svařování	m	5,5	1,0	1,2	2,5	7,5
Přivaření svorníků	ks	190	160	214	200	161
Výstupkové svař.	ks	25	46	147	31	34
Laserové pájení	m	-	1,0	1,03	1,6	1,2
Laserové svařování	m	-	-	3,06	0,5	-

## 2. 2. Geometrie svaru

Bodový svarový spoj se vyznačuje souborem užitečných vlastností a charakteristik, které se podle požadavků na kvalitu spoje posuzují měřitelnými veličinami [2]. Mezinárodní norma ČSN EN ISO 14329 [27] stanovuje definice geometrických měření (obr. 3) a typů lomů, které jsou užívány v souvislosti se zkoušením odporových bodových, švových a výstupkových svarů, u kterých rozdílné zátěžové konfigurace jsou příčinou rozdílného rozložení napětí ve svaru.



**Obr. 3:** Geometrie bodového svaru [27]

$t_l, t_u$  – tloušťka materiálu

$p_b, p_u$  – průvar svarové čochy

$d_{el}, d_{eu}$  – průměry vtisku elektrod

$d_n$  – průměr čochy

$e_b, e_u$  – hloubka vtisku elektrody

$x$  – mezera mezi plechy ( $a$  – místo měření mezery),

$d_{HAZ}$  – průměr tepelně ovlivněné oblasti

$p_{HAZb}, p_{HAZu}$  – průnik tepelně ovlivněné oblasti

1 – základní materiál,

2 – svarová čochka,

3 – tepelně ovlivněná oblast,

4 – vtisk elektrody.

## 2. 3. Elektrody pro bodové svařování

Nejvíce zatěžovaným dílem celé soustavy je elektroda a její pracovní plocha. Tato část je zatěžována celou skupinou faktorů současně a kvalita bodového svaru se odvíjí od momentálního stavu této plochy. Okamžitý stav elektrody ovlivňuje jejich funkci a jejich správná funkce velice ovlivňuje produktivitu práce. V krajním případě se mohou přestávat tvořit vyhovující svary (konec životnosti). Stav elektrody je nutno sledovat, předepsat periodickou úpravu pracovních ploch a jejich výměnu. V průběhu svařovacího procesu lze také programově měnit svařovací parametry (obvykle svařovací proud).

Elektroda je součástí sekundárního obvodu svářečky a přichází do přímého styku se svařovaným dílcem. Protože jejím hlavním úkolem je přivádět do svařovacího místa proud o velmi vysoké intenzitě, bývá téměř vždy zhotovena z materiálu, jehož základní složkou je měď. [9]

Ideální elektrodový materiál by měl mít tyto vlastnosti: [9]

- a) vysokou elektrickou i tepelnou vodivost za normální i vyšší teploty
- b) dostatečnou mechanickou pevnost, aby se elektroda ani při velkém svařovacím tlaku nedeformovala
- c) co nejvyšší teplotu měknutí
- d) co nejmenší sklon k legování svařovaným materiálem
- e) velkou odolnost proti oxidaci se zřetelem k žádoucím malému přechodovému odporu mezi elektrodou a svařovacím dílcem

- f) dobrou odolnost proti otěru za vyšších teplot
- g) dobrou obrobitelnost
- h) nízké výrobní náklady

Tyto vlastnosti do jednoho elektrodového materiálu zkombinovat nelze, a proto se vždy musí počítat s obětováním jedné části ve prospěch té druhé. Pokud budeme preferovat nejlepší elektrickou vodivost, bude to na úkor mechanických vlastností elektrod. V opačném případě, požadujeme-li největší pevnost materiálu, musíme počítat jen s pouhými 20 % elektrické vodivosti mědi.

Nejlepším elektrodovým materiálem pro takové účely je ten, jehož elektrická vodivost postačí k tomu, aby se zabránilo přehřátí a přitom zůstala zachována co největší pevnost. V praxi se nejvíce používají elektrody ze slitin mědi, jako je měď, chrom, zirkon.

Pro svařování značně vodivých kovů, např. hliníku, je nutnost volit pro elektrody nejvodivější materiál. Kdežto pro svařování nerezavějících ocelí a chromniklu, které nejsou tolik vodivé, se nejvíce osvědčila velmi pevná slitina Cu-Be-Co s dostatečnou vodivostí. [11].

Typ elektrody se volí na základě způsobu svařování, na druhu a jakosti povrchu materiálu, který se má svařovat. Při výběru typu materiálu elektrody je možné použít třídění materiálu podle RWMA (Resistance Welder Manufacturers Association). Elektrodové materiály dělí do tří skupin, které se dále dělí do tříd. Čím vyšší je číslo třídy, tím nižší je obsah mědi a s tím spojená vodivost elektrody. Vyrůstá však odolnost vůči opotřebení a pevnost při vysokých teplotách.

- skupina A – slitiny na bázi mědi (třída 1 – 5)
  - třída 1 – měď a zirkon
  - třída 2 – měď a chrom
  - třída 3 – měď a beryllium
  - třída 4 - měď a beryllium (Třída 4 je slitina s extrémně vysokou tvrdostí a pevností v tahu nežli je tomu ve třídě 3)
  - třída 5 – měď a hliník
- skupina B – žáruvzdorné kovy (třída 10 – 13)
- skupina C – speciální materiály

Druhů elektrod a špiček elektrod v bodovém svařování je mnoho viz obr. 4. Často se vyrábějí přímo na míru podle tvaru požadované součásti. Průměr pracovní plochy elektrody

se volí podle tloušťky svařovaných plechů na základě empirických vztahů nebo doporučení normy ISO a velikost svaru by měla odpovídat vztahu  $d = 5\sqrt{t}$  kde:

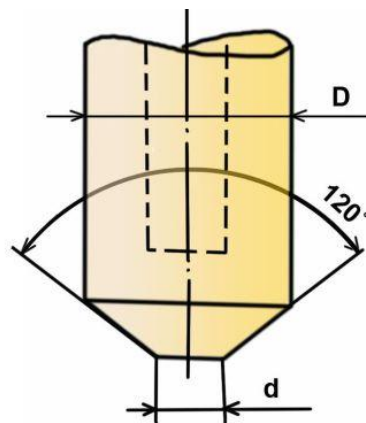
$d$  = průměr pracovní plochy elektrody,

$t$  = tloušťka plechu [mm]

Přímé svařovací elektrody musí být použity s rozměry a tolerancemi uvedenými v ISO 5184, přitom musí mít normalizovaný kužel s vrcholovým úhlem  $120^\circ$ , viz obr. 5.



**Obr. 4:** Elektrody pro bodové svařování dílů [12]



**Obr. 5:** Základní tvar elektrody

$d$  – průměr pracovní plochy [mm]

$D$  – průměr elektrody [mm]

## 2. 4. Životnost elektrod

Životnost elektrod je v rámci tohoto způsobu pro všechny materiály definována jako počet svarů, které mohou být provedeny v požadované jakosti svaru před nezbytnou úpravou dotykové plochy elektrody. Životnost elektrod je velmi závislá také na typu použité bodové svářečky nebo svařovacích kleští. Jak elektrické, tak mechanické vlastnosti svařovacího stroje a kleští musí být specifikovány podle normy ISO 669.

Hodnocením životnosti elektrod u odporového svařování se zabývá norma ČSN EN ISO 8166 [10], která stanovuje postup při zkoušce životnosti elektrod. Pro kvalitu svařovaných konstrukčních dílů by měla být aplikována odpovídající část normy EN ISO 14554. Udané procesy by měly odpovídat směrnicím v normě EN ISO 15609-5.

Při bodovém svařování dochází v elektrodě k mechanickým, metalurgickým a elektrickým změnám. Změny v elektrodě jsou nežádoucí a snažíme se jim vyhnout.

Životnost elektrod nám určují tyto faktory [3]:

- výrobce materiálu elektrod a výrobce elektrod;

- výrobce svařovacího stroje (statické, dynamické a mechanické strojové vlastnosti svařovacího zařízení);
- uživatel elektrody;
- svařovací parametry.

Specifikovaný postup umožňuje určovat životnost elektrod, to je počet přijatelných bodových svarů, které mohou být provedeny mezi potřebou úpravy elektrody. Zkušební postup může být použit k vyhodnocení následujících údajů [10]:

- a) vliv materiálu elektrod nebo tvaru a rozměru elektrod na životnost elektrod při svařování určeného materiálu;
- b) vliv svařovaného materiálu na dosaženou životnost elektrod při použití konstantního tvaru a rozměrů elektrod;
- c) vliv svařovacích podmínek na životnost elektrod při použití dané kombinace materiálu a tvaru elektrod pro svařování jakéhokoliv druhu materiálu;
- d) vliv typu svařovacího stroje a chlazení elektrod na životnost elektrod.

### 3. PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ

Mezi svařovací parametry řadíme proměnlivé veličiny, které je potřeba nastavit tak, aby byl vytvořen optimální svar [30].

Mezi základní parametry řadíme:

1. svařovací proud  $I$  [kA]
2. svařovací čas  $t$  [ms]
3. přitlačná síla mezi elektrodami  $F$  [N]

Proces se zdá být jednoduchý, ale bodové svařování je ovlivňováno mnoha faktory. Jsou to výše uvedené 3 parametry, či další jako (přechodový odpor, vlastnosti materiálů, povrchové nátěry, rozměry, vlastnosti svařovacího stroje nebo stále rostoucí opotřebení elektrod.

Určení vhodných parametrů pro bodové svařování je velice komplexní záležitost. Změna jednoho z parametrů může způsobit vytvoření jiného svaru. V tab. 4 jsou směrné hodnoty svařovacích parametrů pro bodové svařování pozinkovaných ocelových plechů tloušťky 0,4 až 30 mm. ČSN EN ISO 14373 Odporové svařování – Postup pro bodové svařování nepovlakovaných a povlakovaných uhlíkových ocelí.



**Tab. 3:** Svařovací parametry pro bodové svařování pozinkovaných ocelových plechů [15]

Tloušťka jednoho plechu		Průměr plochy elektrody	Svařovací parametry					
			Pozinkováno ponorem <sup>a</sup>			Elektrolyticky pozinkováno <sup>b</sup>		
			Síla	Doba svaru v periodách <sup>c</sup>	Proud	Síla	Doba svaru v periodách <sup>c</sup>	Proud
mm	mm	mm	kN		kA	kN		kA
> 0,4	≤ 0,6	4	1,5 až 2,0	6 až 8	7 až 9	1,5 až 2,0	6 až 8	6 až 8
> 0,6	≤ 0,8	4	1,9 až 2,0	8 až 10	8 až 10	1,9 až 2,2	8 až 10	7 až 9
> 0,8	≤ 1,0	5	2,2 až 2,9	9 až 12	9 až 11	2,2 až 2,9	9 až 12	8 až 10
> 1,0	≤ 1,2	5	2,8 až 3,6	10 až 13	10 až 13	2,8 až 3,6	10 až 13	9 až 13
> 1,2	≤ 1,6	6	3,4 až 4,5	11 až 15	14 až 16	3,4 až 4,5	11 až 15	12 až 15
> 1,6	≤ 2,0	7	4,4 až 5,5	12 až 16	18 až 21	4,4 až 5,5	12 až 16	14 až 17
> 2,0	≤ 2,5	8	5,4 až 6,8	14 až 18	22 až 26	5,4 až 6,8	14 až 18	17 až 22
> 2,5	≤ 3,0	9	6,6 až 8,0	17 až 21	26 až 30	6,6 až 8,0	17 až 21	19 až 24

<sup>a</sup> Vhodné pro tloušťky povlaku G275 ( $t = 20 \mu\text{m}$  na jedné straně).

<sup>b</sup> Vhodné pro tloušťky povlaku 7  $\mu\text{m}$  na jedné straně.

<sup>c</sup> 1 perioda = 0,02 s

Parametry pro svařování se mohou lišit i množstvím dodávaného tepla do svaru, kterého můžeme dosáhnout. Můžeme užívat stejného množství tepla, které je dodáváno do svaru vysokým proudem a krátkým časem nebo naopak nižším dodaným svařovacím proudem v delším časovém rozsahu viz tab. 4. První kombinace parametrů je nazývána měkký režim, který vyžaduje především vyšší přitlačnou sílu. Druhá kombinace je tvrdý režim, kde je použita nižší přitlačná síla. viz obr. 6.

### Měkký režim

#### Výhody

- 1) Nevyžaduje stroje velkého příkonu
- 2) Umožňuje používat menší průřezy elektrických vodičů
- 3) Je méně citlivý na odchylky odporové svařitelnosti svařovaných materiálů

#### Nevýhody

- 1) Vyžaduje delší strojové časy a tím je snížena produktivita
- 2) Vznikají větší deformace a napětí ve svarových spojích
- 3) Vzniká hrubozrná struktura, která je méně pevná
- 4) Vyžaduje častější úpravu svařovacích elektrod

## Tvrdý režim

### Výhody

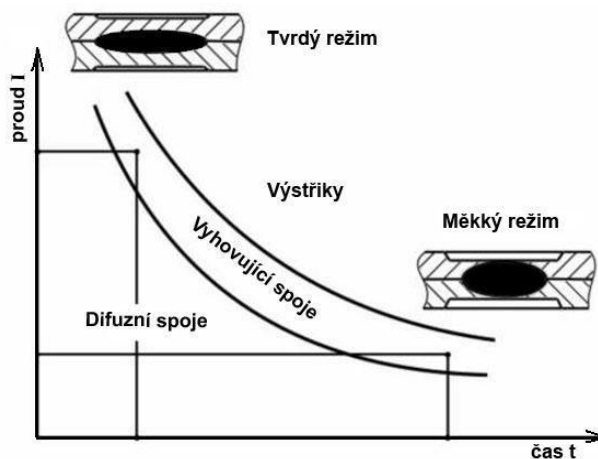
- 1) Jsou vyžadovány menší strojní časy
- 2) Krátkodobé působení svařovací teploty, vzniká jemnozrná struktura
- 3) Vzniká minimální napětí a deformace
- 4) Snižuje spotřebu energie a opotřebení svařovacích elektrod

### Nevýhody

- 1) Jsou vyžadovány stroje s velkým příkonem a silnější konstrukcí
- 2) Vyžaduje dobrou energetickou situaci podniku

**Tab. 4:** Přehled svařovacích parametrů v měkkém a tvrdém režimu [14]

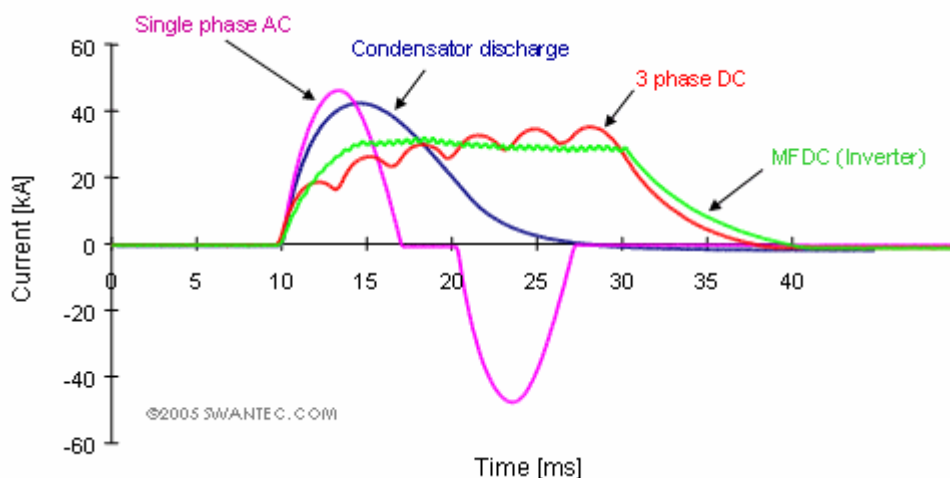
	Měkký režim	Tvrdý režim
Svařovací tlak – p	do $50 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$	$\sim 10\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$
Svařovací síla – F	do 1 000 N	$\sim 2\,000 \text{ N}$
Proudová hustota	do $250 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$	$\sim 500 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$
Svařovací proud – I	do 5 000 A	$\sim 10\,000 \text{ A}$
Svařovací čas (čas v periodách)	nad 0,5 s nad 25 period	$\sim 0,16 \text{ s}$ $\sim 8 \text{ period}$



**Obr. 6:** Oblast měkkého a tvrdého svařovacího režimu u bodového svařování [14]

Svařovací proud je nejdůležitější parametr v odporovém svařování, který určuje vytváření tepla. Obr. 7 představuje typické druhy svařovacího proudu aplikovaného v odporovém svařování včetně jednofázového střídavého proudu (AC), který je nejvíce používán v produkci, třífázový stejnosměrný proud (DC), kondenzátor propouštění (CD), a nově vyvinutý středofrekvenční měnič DC. Obvykle jsou podstatné střední hodnoty (RMS)

svařovacího proudu, které jsou užívány ve strojních nastaveních parametrů a řízených procesů. To je často zdoluhavá práce svařovacích odborníků, aby našli optimalizovaný svařovací proud a čas pro každou individuální aplikaci svařování.



**Obr. 7:** Typické druhy svařovacího proudu aplikovaného v odporovém svařování [16]

Single phase AC – Jednofázový střídavý proud

Condensator discharge – Kondenzátor propouštění

3 phase DC – Třífázový stejnosměrný proud

MF DC (Inverter) – Středofrekvenční měnič

Current – Proud

Time – Čas

Vznikající teplo v procesu svařování lze určit pomocí Joule-Lenzovým zákonem v integrálním tvaru [2]:

$$Q = \int_0^{t_{\text{svař}}} R_c(t) \cdot I^2(t) \cdot dt_{\text{svař}} \quad (1)$$

$Q$  – celkové množství tepla [J]

$R_c$  – celkový elektrický odpor [Ω]

$I$  – svařovací proud [A]

$t_{\text{svař}}$  – svařovací čas [s]

Svařovací čas lze definovat podle [9] jako časový interval, kdy materiálem prochází svařovací proud. Tudíž začátkem prvního a ukončením posledního pulsu včetně součtu časů přerušení proudu. Svařovací čas je měřen v sekundách [s], výhodnější je však měřit

svařovací čas v periodách síťového kmitočtu. V ČR je frekvence sítě 50 Hz což je 0,02 s na jednu periodu.

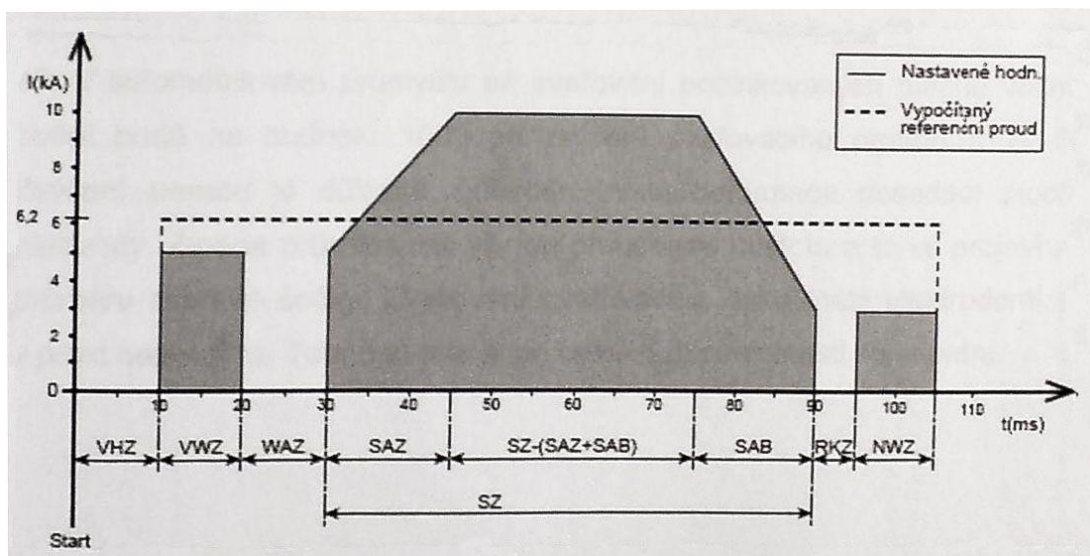
Časový interval, při kterém se tvoří svarový spoj, je zpravidla velice krátký. Celkový svařovací čas se zpravidla pohybuje v rozmezí 0,03 až 1 [s]. Vytváření tepla je přímo úměrné svařovací době. Nastavení délky svařovacího času je velmi důležité, protože se jedná o jeden z uváděných faktorů, kterým se dá regulovat vznikající teplo uvnitř svaru.

Pokud je svařovací proud příliš nízký nemusí dojít k vytvoření svarové čochy, ale vytvoří se pouze difúzní spoj.

Když je proud optimální, velikost svaru (svarové čochy) dosáhne velikosti podobné ploše pracovní části elektrody.

Pokud je proud velmi vysoký může docházet k nadměrnému protavení základního materiálu, výstřikům roztaveného kovu či v nejhorším případě přilepení elektrody k materiálu.

Současné moderní elektronické systémy umožňují nastavení různých svařovacích časů – obr. 8. Svařovací časy lze rozdělit na dobu náběhu, vlastní svařovací čas, dobu přestávky mezi jednotlivými pulsy, dobu poklesu svařovacího proudu a dobu dotlaku svařovacích elektrod [2].



**Obr. 8:** Svařovací program s jedním impulsem [2]

Přítlačná síla je třetím rozhodujícím parametrem svařování. Při návrhu svařovacího tlaku je nutno zvolit jeho velikost tak, aby se při eventuálních menších nerovnostech plechů tlakem zajistilo jejich správné dosednutí v místě budoucího svaru, a aby byl zaručen dokonalý průchod svařovacího proudu. Pokud je zvolen příliš malý svařovací tlak, dojde ke zvětšení přechodového odporu mezi svařovaným materiálem a elektrodami, což může vést k většímu ohřevu v těchto místech, k přilepování elektrod k plechům a tím i k rychlejšímu

opotřebení elektrod. Naopak nadměrný tlak má za následek snížení povrchového odporu a to má za následek špatné kvality svarů. Dochází tedy k nadměrnému opotřebení špičky resp. k zvětšení pracovní plochy elektrody.

Svařovací tlak závisí také na kvalitě povrchu svařovaných materiálů a svařovacím času. Volba velikosti svařovacího proudu závisí na tloušťce spojovaných materiálů, stavu jejich povrchu, elektrickém odporu materiálu, svařovacím tlaku a času, vyložení ramen svařovacího stroje, čím je větší vyložení a rozevření ramen, tím vznikají větší elektrické ztráty a musí se zvýšit velikost svařovacího proudu [6].

### 3. 1. Měřitelné veličiny svařovacího procesu

Měřitelné veličiny, tzv. parametry procesu, lze rozdělit do tří skupin. Pro případ odporového svařování se rozlišují [11]:

- a) Přímé parametry svaru: jsou to veličiny, popisující vlastnosti hotového svaru tj. jeho geometrii, pevnost, tvrdost, výskyt trhlin, porositu apod. Přímé parametry určují kvalitu svaru.
- b) Nepřímé parametry svaru: zahrnují konvenční svařovací parametry, jako jsou svařovací proud, svařovací čas, svařovací síla, materiál a geometrie elektrod, teplota a průtok chladicí vody apod.
- c) Přechodné nepřímé parametry svaru: představují obecně reakci systému na průběh svařovacího procesu a jsou zdrojem informací o tvorbě svaru. Jedná se např. o rozměry natavení oblasti, útlum ultrazvukového signálu procházejícího svarem, infračervené záření svaru, akustická emise svaru, teplota v různých místech spoje apod.

Veličiny, které jsou zdrojem informací o vytváření svarového spoje, se podle charakteru rozděluje na mechanické a fyzikální (elektrické a ostatní fyzikální). V souladu s tímto členěním je účelné rozdělit systémy sledování a řízení bodového odporového svařování na:

1. Systémy využívající měření a vyhodnocování mechanických veličin a neelektrických fyzikálních veličin.
2. Systémy využívající měření a vyhodnocování elektrických veličin.
3. Systémy využívající různé kombinace elektrických a neelektrických veličin a systémy využívající statistické modely.

### 3. 1. 1. Elektrické veličiny

Mezi elektrické veličiny u bodového svařování lze zařadit svařovací proud, odpor svaru, napětí mezi elektrodami, výkon a různé kombinace uvedených veličin. Sledování těchto veličin je již dnes součástí elektronického systému každé odporové svářečky. Elektronická regulace umožňuje měnit velikost proudu a svařovací čas. Svařovací proud se zvyšuje nebo snižuje podle hodnoty integrálu napětí předchozího svaru automaticky o předem nastavený krok [3].

### 3. 1. 2. Mechanické veličiny

V důsledku působení tepla dochází k ohřevu materiálu, což vede ke změně objemu resp. k tepelné expanzi. Tato změna způsobuje relativní pohyb elektrod, který lze měřit. Relativní pohyb elektrod se ve skutečnosti skládá z vlastní tepelné expanze svaru (s rostoucí teplotou roste) a ze zatlačování elektrod do ohřátého svařovaného materiálu [3].

## 3. 2. Kvalita bodových svarů

Kvalitu svarových spojů je nutno posuzovat komplexně v souladu s požadovanými vlastnostmi svarků. Pro hodnocení kvality je nutné stanovit vhodná kritéria a pro jejich zjištění optimální metodické postupy. Kritéria kvality svarových spojů mají umožnit jejich jednoznačnou klasifikaci na vyhovující a nevyhovující.

V podstatě není žádný kovový materiál, který by neobsahoval vady. V každém kovovém materiálu je již od výroby velké množství submikroskopických vad (na úrovni krystalových mřížek, atomů a zrn), které naprosto zásadně ovlivňují vlastnosti každého kovového materiálu, nezabraňují však jeho efektivnímu praktickému využití.

Zjišťování kvality bodových svarů je dnes jednou z prioritních záležitostí při výrobě daného produktu. Každý zákazník má jiné stanoviska na jakost požadovaného spoje. Použití bodového svařování je většinou charakteristické velkosériovou výrobou, u které je potřeba kontrolovat kvalitu přímo při procesu výroby [7]. Proto se používají ochranné a kontrolní prvky. Při vytváření bodu je kontrolována velikost sekundárního proudu, digitální měřidla dle nastavení kontrolují odchylky na místech k tomu určených nebo kontroluje dělník pomocí měřidel a zároveň provádí vizuální kontrolu daného produktu. Těmito kontrolními mechanismy se v průběhu výroby zvyšuje produktivita a dosahuje se vyšší jakosti produktů jako celku.

Kvalita bodových svarů se hodnotí různými destruktivními i nedestruktivními zkouškami, které více či méně objektivně postihují výsledný efekt svařovacího procesu. Vhodný rozsah a způsob hodnocení kvality závisí především na účelu prováděných zkoušek a na podmínkách provozu svarků [3].

Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů je uvedeno v normě Bodové, švové a výstupkové svařování ČSN EN ISO 15609-5 [28] a normě Odporové svařování ČSN EN ISO 15614-12 [29].

### 3. 2. 1. Destruktivní zkoušky

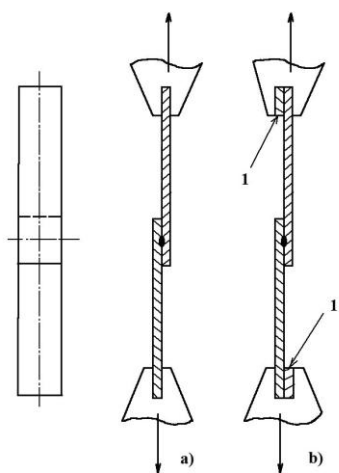
Destruktivní zkoušky svarů odporového svařování jsou popsány v normě ČSN EN ISO 14329 Odporové svařování - Destruktivní zkoušky svarů - Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Tato mezinárodní norma stanovuje termíny a definice geometrických měření a typů lomů, které jsou používány v souvislosti se zkoušením odporových bodových, švových a výstupkových svarů, u kterých rozdílné zátěžové konfigurace jsou příčinou rozdílného rozložení napětí ve svaru. [24]. Základní destruktivní zkoušky jsou:

- zkoušení stříhem
- křížové zkoušení tahem
- zkoušení krutem
- odlupovací zkoušení
- sekáčové zkoušení
- makroskopická a mikroskopická kontrola
- zkoušení tvrdosti
- zkouška rozlomením
- tlakové nafukovací zkoušení

Dále jsou popisovány destruktivní zkoušky, které jsou nejčastěji používané pro vyhodnocení kvality svaru.

#### Zkouška stříhem

Popis této zkoušky je uveden v normě ČSN EN ISO 14273 [25]. Tato mezinárodní norma stanovuje rozměry vzorků a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů u přeplátovaných plechů z jakýchkoliv kovových materiálů tloušťky od 0,5mm do 10mm, kde svary mají maximální průměr  $7\sqrt{t}$ , (kde  $t$  je tloušťka plechu v mm). Účelem této zkoušky je stanovit maximální střížnou sílu, kterou je svar schopen vydržet.



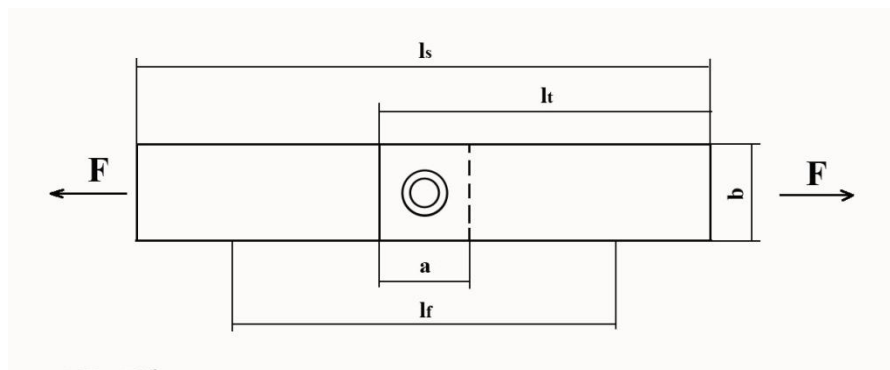
**Obr. 9:** Sestava pro zkoušku stříhem [24]

- a) profil bez podložených plechů
- b) profil s podloženými plechy (pro  $t < 3$  mm a tam kde  $t_1:t_2 > 1,4$ )
- 1 – podložný plech

Vzorek se upne do trhačího stroje, který musí být v souladu s požadavky normy ISO 7500-1 takovým způsobem, že upínací čelisti jsou navzájem v požadované vzdálenosti od sebe (obr. 9). Rozměr vzorku a velikost přeplátování je stanoven podle tabulky z této normy. Zkouška musí být provedena při pokojové teplotě. Tato metoda byla aplikována i v experimentální části.

#### Velikost a tvar vzorku

Velikost a tvar vzorku pro zkoušení stříhem je stanoven dle normy ČSN EN ISO 14273 [25]. Detailní pohled na normalizovaný vzorek je vidět na obr. 10 a Tab. 5.



**Obr. 10:** Vzorek pro zkoušení stříhem [25]



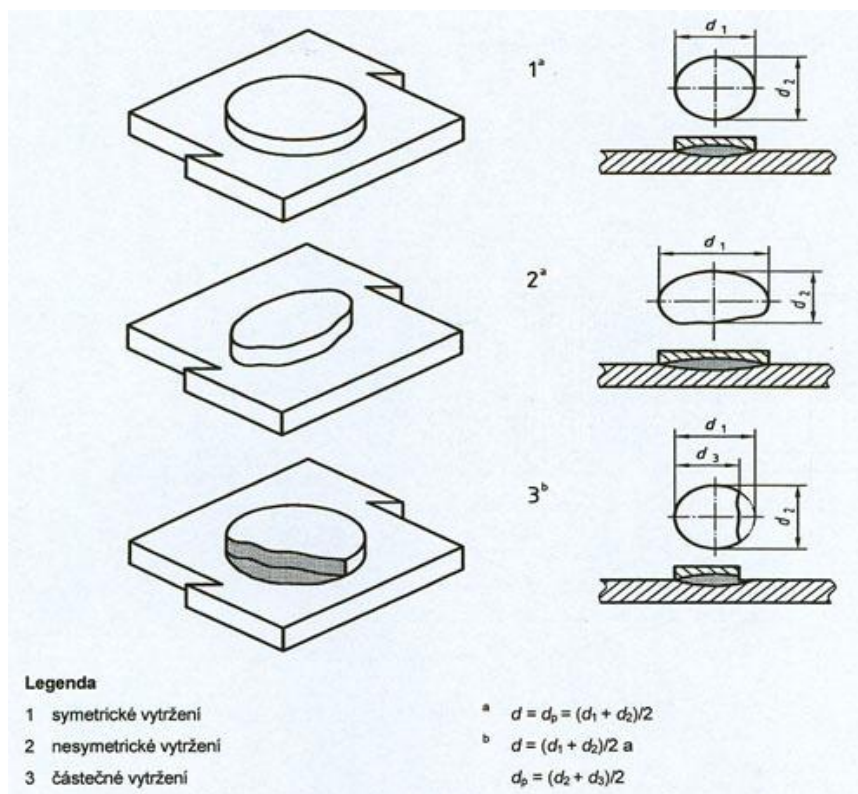
**Tab. 5:** Rozměry vzorků pro zkoušení stříhem [25]

Tloušťka <b>t</b>	Přeplátování <b>a</b>	Šířka vzorku <sup>a</sup> <b>b</b>	Délka vzorku <b>l<sub>s</sub></b>	Volná délka mezi čelistmi <b>l<sub>f</sub></b>	Délka jednotlivých zkušebních ústřížků <b>l<sub>t</sub></b>
$0,05 \geq t \geq 1,5$	35	45 (30)	175	95	105
$1,5 \geq t \geq 3$	46	60 (30)	230	105	138
$3 \geq t \geq 5$	60	90 (55)	260	120	160
$5 \geq t \geq 7,5$	80	120 (80)	300	140	190
$7,5 \geq t \geq 10$	100	150 (100)	320	160	210

<sup>a</sup> Hodnoty v závorkách dávají přibližně 10% snížení pevnosti, a proto se tyto šířky používají pouze po dohodě mezi výrobcem a zákazníkem.  
Pozn.: Rozměry v mm

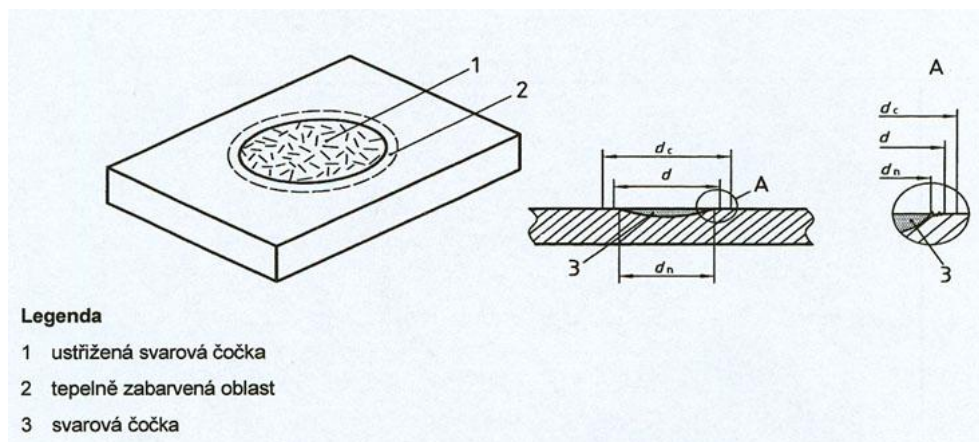
### Měření svaru a průměru vytržené části při porušení vytržením

Norma ČSN EN ISO 14273 [25] stanovuje také způsob měření svaru a průměru vytržené části při porušení vytržením. Pokud dojde k vytržení bodového svaru, měříme výčnělek  $d_1$  a  $d_2$  (druhé měření přesazené o  $90^\circ$ ). Poté je hodnota  $d$  stanovena středním průměrem  $d_1$  a  $d_2$  (obr. 11):



**Obr. 11:** Měření svaru a průměru vytržené části při porušení vytržením [25]

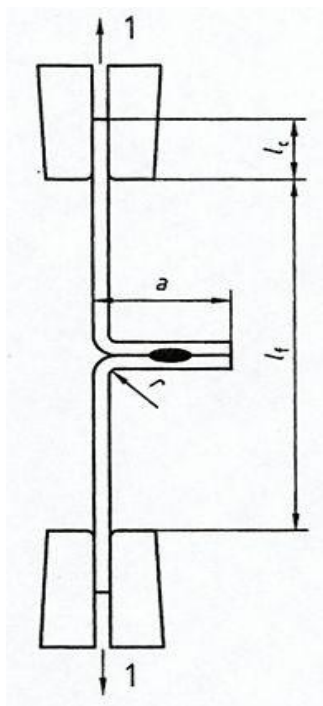
V případě, že dojde k porušení spoje v dělicí rovině, je brán průměr svaru  $d$  jako střední průměr natavené oblasti měřený v dělicí rovině s vyloučením tepelně zbarvené oblasti spoje (obr 12).



**Obr. 12:** Měření velikosti svaru porušeného v dělicí rovině [25]

## Zkouška odlupovací

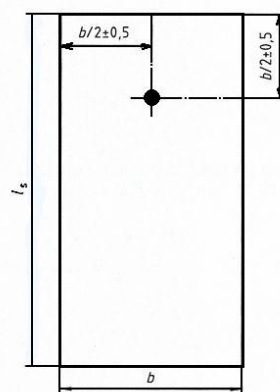
Postup odlupovací zkoušky je stanoven normou ČSN EN ISO 14270 [26]. Tato mezinárodní norma stanovuje rozměry vzorku a postup pro mechanizované odlupovací zkoušení jednotlivých odporových bodových, švových a výstupkových svarů u překládaných plechů z jakýchkoliv kovových materiálů tloušťky od 0,5 mm do 3 mm, kde svary mají maximální průměr  $7\sqrt{t}$ , kde  $t$  je tloušťka plechu v mm (obr. 13, 14).



**Obr. 13:** Princip odlupovací zkoušky [26]

1 – směr působení síly

$r$  – poloměr  $\approx$  tloušťce plechu



**Obr. 14:** Zkušební vzorek pro jednotlivé bodové nebo výstupkové svary [26]

**Tab. 6:** Rozměry vzorků pro odlupovací zkoušku [26]

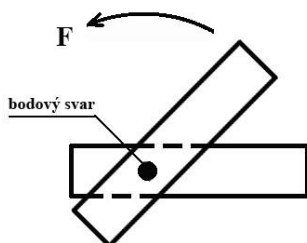
Tloušťka	Přeplátování	Šířka vzorku	Délka vzorku	Volná délka mezi čelistmi	Délka upnutí v čelistech
$t$	$a$	$b$	$l_s$	$l_f$	$l_c$
$0,5 \leq t \leq 1,5$	35	45	125	95	40
$1,5 \leq t \leq 3$	45	60	160	105	60
Pozn.: Rozměry v mm					

Díky této metodě lze odhalit studené spoje, ke kterým jsou náchylné především materiály s povrchovou úpravou. Jde o rychlou zkoušku, kterou je možné podrobit zkoušený vzorek přímo na pracovišti. Podle velikosti svarové čochy je možno určit například stav opotřebení elektrody nebo špatné nastavení svařovacích parametrů. Lze stanovit i tepelně ovlivněnou oblast, která se s opotřebením elektrody zvětšuje. Zejména u malých bodových svarů vzniká na povlakovaném plechu kolem svarové čochy oblast, ve které dojde ke spojení „pájením“ pájkou z roztavené povrchové vrstvy. Takové svary jsou nevyhovující a mohou se porušit při náhodném nárazu výrobku [3].

## Zkouška krutem

Podrobnosti k této metodě (obr. 15) jsou stanoveny v normě ČSN EN ISO 17653 [27]. Tato evropská norma je určena pro zkušební vzorky bodově svařené, které mají jednotlivé tloušťky ocelových plechů v rozmezí od 0,5 mm do 3,0 mm. Za jistých okolností může být norma použita i pro neželezné materiály.

Záměrem této zkoušky je určení vlivu různých typů oceli, parametrů svařování a jiných činitelů na deformační charakteristiky bodového svaru. Z porušených vzorků umožňuje tato zkouška stanovit průměr svaru a typ porušení. Navíc může být stanoven maximální krouticí moment (krut) a odpovídající úhel zkroucení.

**Obr. 15:** Zkouška krutem [27]

## Zkouška metalografická

Obsahuje hodnocení základních mikrostrukturních vlastností materiálů zpravidla prováděných pod mikroskopem při velkém zvětšení. Hodnotí se makrostruktura i mikrostruktura spoje. Důležitá je příprava zkoušeného vzorku, který je nutno podrobit

mnoha přípravným operacím jako je broušení, leštění a naleptání. Podmínky této zkoušky určuje norma ČSN EN 1321.

Metalografické hodnocení bodového svarového spoje nám dává přehled o [3]:

- strukturní stavbě svarového spoje;
- strukturní stavbě teplem ovlivněné oblasti;
- charakteru okolní zóny svarové čochy ve styku svařovaných plechů;
- homogenitě a celistvosti svaru (trhliny, plynové dutiny, staženiny apod.);
- rozměru a tvaru svarové čochy, velikosti vtisku elektrod (obr. 3).

### 3. 2. 2. Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní zkoušky se řadí do nejrozšířenější skupiny zkoušek svarových spojů, jedná se o zkoušky, kdy nedochází k deformaci materiálu či svarového spoje, a proto dají se bez problémů dále použít. Vycházejí z jednoduchého předpokladu, že pokud se ve svaru nevyskytují vady (malá porosita, málo četné nebo málo závažné vady) budou svarové spoje dobře sloužit v provozu.

Nedestruktivní zkoušky zastupují významný člen v hodnocení jakosti ve všech etapách výroby i provozní spolehlivosti. Význam nedestruktivní kontroly spočívá v zajištění kvality výrobku, jeho technické způsobilosti a funkční způsobilosti [17].

Základní nedestruktivní metody používané pro kontrolu jakosti svarů dělíme podle toho, zda identifikujeme vady na povrchu svaru nebo uvnitř svaru.

#### **K zjišťování povrchových vad se používají metody:**

- vizuální kontrola
- kapilární zkoušení
- magnetická prášková metoda
- héliová zkouška těsnosti

#### **Vnitřní vady se zjišťují metodami:**

- ultrazvuková zkouška
- prozařovací metody

Povrchové vady bodových svarů nejsou většinou tak důležité, jako jsou vady vnitřní, lze však od nich usuzovat kvalitu propojení uvnitř svaru.

### Vizuální zkouška

Vizuální zkouška je nejjednodušší a zároveň nejednodušší a nejlevnější defektoskopickou kontrolou svarů, kdy pouhou prohlídkou prostým zrakem nebo v přísnější podobě pomocí zraku a optických přístrojů s několikanásobným zvětšením (lupa), zjišťujeme

povrchové defekty a ověřujeme splnění podmínek pro další eventuální nedestruktivní kontrolu [17]. Lze s ní posoudit hloubku vtisku elektrody, natavení povrchu materiálu, symetrii vzniklého svaru, výstřik z povrchu materiálu apod. [3].

Základem této zkoušky je několik předpokladů: dobře přístupný povrch svaru pro vizuální prohlídku, dobré osvětlení prohlíženého místa přirozeným nebo umělým světlem a ostrý zrak zkoušejícího, který je schopen rozeznat požadované drobné detaily i blízké drobné detaily od sebe odlišit. Závěry a hodnocení vizuální zkoušky by mělo vždy předcházet všem ostatním kontrolám [17].

Provádění vizuální kontroly se řídí normou ČSN EN 970 [18].

## Zkouška magnetická prášková

Tato metoda umožňuje zjišťovat povrchové nebo těsně podpovrchové (max. asi 2-3 mm) vady. Je založena na principu zviditelnění magnetických siločar vystupujících na povrch feromagnetických materiálů (což je určité omezení této metody – feromagnetické jsou např. nelegované a legované oceli kromě ocelí austenitických). Pokud je na povrchu nebo těsně pod ním nějaká vada ve zkoušeném materiálu (která není feromagnetická, např. trhлина, struska, bublina), tak magnetické siločáry „obcházejí“ tuto vadu a uzavírají se vzduchem a vystupují nad povrch materiálu, kde tvoří tzv. rozptylové magnetické pole.

Výhodou magnetické zkoušky je rychlost, malé náklady na zařízení, snadná obsluha a schopnost odhalit i podpovrchové vady. Nevýhodou je práce se špinavou kapalinou, možnost opálení povrchu při magnetizaci průchodem proudu, obtížná zjistitelnost malých a oblé vad [17].

Provádění magnetických zkoušek se řídí normami ČSN EN 1290 [19] a ČSN EN 1291 [20].

## Penetrační zkouška

Tato zkouška umožňuje s poměrně velkou citlivostí zjišťovat povrchové vady, které však musí souviset s povrchem tzn., že musí být na povrchu otevřené, aby do nich mohla vniknout detekční tekutina. Je tedy založena na vztláivosti některých kapalin (uhlovodíku, např. petroleje) do otevřených dutin v materiálu. Využívá se tedy kapilárních jevů, především smáčivosti a vztláivosti.

Hodnocení je subjektivní a vyžaduje zkušenosti. Výhodou této metody je nenáročnost, nízká cena, snadná indikace vad a poměrně velká citlivost. Nevýhodou je odhalení pouze vad spojených s povrchem, potřeba čistého a hladkého povrchu ( $R_a 3,2 \mu\text{m}$ ), nestálost výsledků (vady je třeba hledat brzy po nanesení vývojky, po delší době mohou

malé vady zmizet, velké se zase rozpijí a jeví se větší) a obtížná registrace vad. I tato zkouška se doplňuje zkouškami prozářením nebo ultrazvukovou zkouškou [17].

Kapilární zkouška se provádí podle normy ČSN EN 579-1 a svary se vyhodnocují podle normy ČSN EN 1289.

## Ultrazvuková zkouška

Je založena na principu odrazu ultrazvukových vln na rozhraní dvou prostředí s rozdílnými akustickými vlastnostmi. Ultrazvuk se do zkoušeného materiálu vysílá pomocí sondy v krátkých impulsech. Velikost a časové zpoždění odezvy se vyhodnocuje na obrazovce ultrazvukového přístroje a lze z nich usoudit na velikost a umístění odrazné plochy (vady).

Zdroje ultrazvukových impulsů jsou ultrazvukové zkušební sondy, jejichž základním prvkem je elektroakustický měnič. Tyto měniče mění elektrický signál na mechanický a nejčastěji se používají měniče piezoelektrické. Podle druhu vln, které sonda vysílá a přijímá, se dělí sondy na přímé a úhlové. Používá se podélných a příčných ultrazvukových vln o frekvenci 1 až 10 MHz. Budí se piezoelektrickými nebo elektrostriekčními destičkami. Podélné vlny se mohou šířit v plynných, kapalných i v pevných látkách, příčné jen v tuhých látkách. Jako indikátor se používá obrazovka, na jejímž stínítku se zobrazují vysílané a přijímané impulsy. V okamžiku vysílání se na obrazovce objeví vysílací impuls (počáteční echo) a koncové echo. Mezi nimi jsou potom případná echa signalizující vadu v kontrolovaném výrobku. Vzdálenost mezi počátečním a koncovým echem je přímo úměrná tloušťce základního materiálu [17].

Pro zkoušení ultrazvukem platí norma ČSN EN 1714 [21] a pro vyhodnocení platí ČSN EN 1712 [22].

Používají se dvě známé metody:

- průchodová metoda
- odrazová metoda

### a) Metoda průchodová

Jedná se o nejjednodušší metodu zkoušení ultrazvukem. Vady v materiálu jsou překážkou, za níž se vytvoří ultrazvukový stín, tj. akustický tlak procházející ultrazvukové vlny se sníží. Na dvou protilehlých površích se souose umístí vysílací a přijímací sonda. Základem metody je měření hodnoty ultrazvukové energie, která projde zkoušeným předmětem. Pokud dojde mezi vysílačem a přijímačem k poklesu tlaku, zjistíme tím, že je v tomto místě v materiálu vada. Tato metoda je vhodná pro zkoušení výrobků menších

tloušťek s rovnoběžnými povrchy přístupnými z obou stran. Nevýhodou je nemožnost odlišit, zda pokles akustického tlaku je v důsledku vady nebo nedokonalým akustickým navázáním. Další nevýhodou je, že se musí použít dvě oddělené ultrazvukové sondy, které musí být umístěny souose [17].

#### **b) Metoda odrazová**

Tato metoda je všestranně použitelná a poskytuje informace nejen o vadách, ale i o struktuře materiálu, rozměrech atp. Princip této metody spočívá ve vysílání krátkého ultrazvukového impulsu, který se odráží od všech rozhraní (vad i povrchů), vrací se zpět do sondy a časový průběh je zobrazován na obrazovce. Generátor tedy vybudí ultrazvukovou sondu, která vysílá i přijímá ultrazvukové impulsy a je akusticky navázaná na zkoušené prostředí. Impulsy se odrážejí od vad a od povrchu materiálu a vracejí se zpět do sondy. Generátor je spouštěn synchronizátorem současně se zdrojem časové základny, která se přivádí na horizontální vychylovací destičky obrazovky. Na její vertikální vychylovací systém je připojen výstup zesilovače. Impulsová odrazová metoda dává informaci o vzdálenosti odrazové plochy podle zpoždění, s nímž se odražený impuls (echo) vrátí do sondy a o velikosti odrazové plochy podle výšky echa. Výhodou této metody je možnost vysílat i přijímat jednou sondou a lze tedy kontrolovat i výrobky přístupné pouze z jedné strany.

Pro zkoušení ultrazvukem platí norma ČSN EN 1714 [21] a pro vyhodnocení platí ČSN EN 1712 [22]

### **Zkouška prozářením (RTG)**

Zkouška prozářením patří k nejstarším užívaným metodám nedestruktivního zkoušení a její princip spočívá v pohlcování ionizačního záření (pronikavé elektromagnetické záření) v kontrolovaném výrobku a z následného zviditelnění prošlého záření vhodným detektorem a lze tak stanovit místa, ve kterých se vyskytují vady. Výskyt vady se na filmu projeví změnou intenzity zčernání. Tato metoda slouží ke zjišťování vnitřních vad a někdy i pro zjišťování povrchových, ale nepřístupných vad.

Využívá se vlastnosti každého prvku (slitiny prvků), kterou je různé pohlčení (zeslabení) pronikavého elektromagnetického záření procházejícího tímto materiálem. U kovových materiálů (které obvykle svařujeme) je tímto elektromagnetickým zářením nejčastěji rentgenové (RTG) nebo gama záření.

Jako zdroje záření se používají rentgenové lampy (záření X – rentgenové) nebo používáme-li gama záření, tak to vychází z malého množství radioaktivního zářiče (radioaktivních prvků při jejich radioaktivním rozpadu, kterým říkáme radioizotopy –

iridium, kobalt). Dá se použít i lineární urychlovače (záření XX – urychlené elektrony). Jako detektor záření se používá radiografický film.

Necháme-li procházet RTG (nebo gama) záření svarovým spojem, tak na protilehlé straně ke zdroji záření dostáváme profil intenzit záření. Intenzitu záření většinou registrujeme pomocí fotografického filmu, na fotoluminiscenčním stínítku (štítku) anebo pomocí speciální elektronky převádíme intenzitu záření do elektronické podoby.

Nevýhoda zkoušky prozařováním je její vysoká finanční hodnota, vyžadující speciální zařízení, zvláštní bezpečnostní pracoviště a vyškolený personál. Ionizující záření je lidskému organismu nebezpečné. Pracoviště pro provádění zkoušek prozařováním patří mezi riziková pracoviště a platí pro ně zvláštní hygienické a bezpečnostní předpisy [17].

Pro zkoušku prozařováním platí norma ČSN EN 1435 [23].

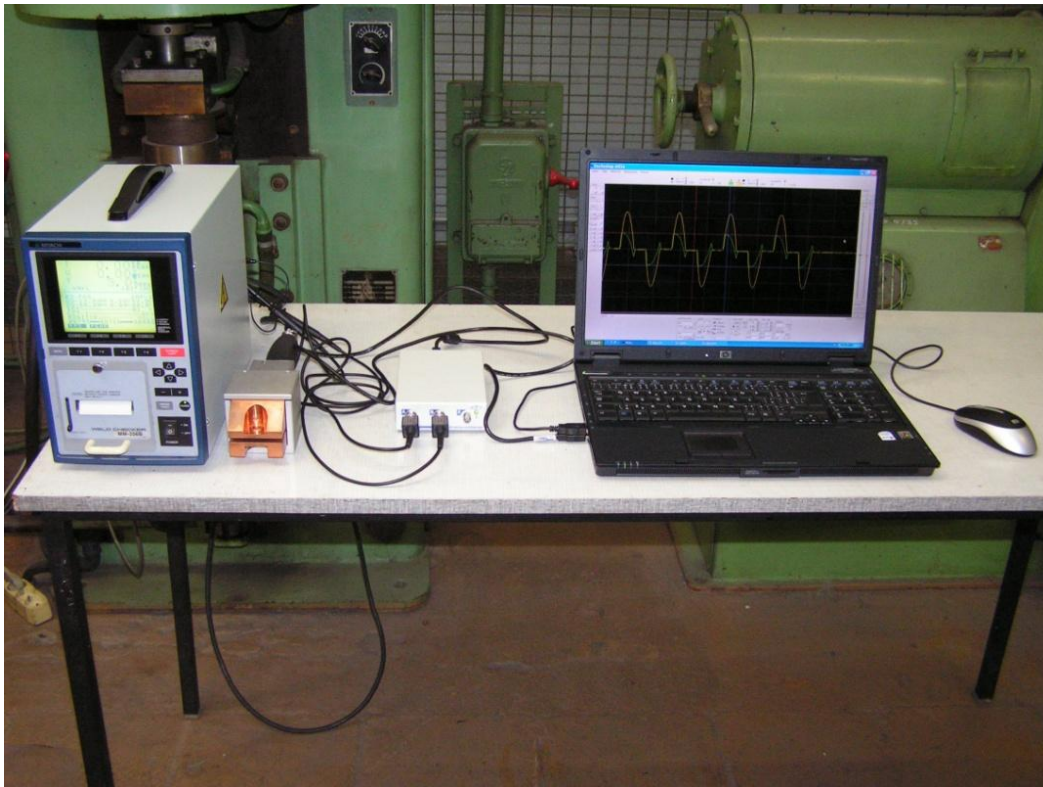
## 4. CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bakalářská práce vychází z poznatků uvedených v disertační práci Neumanna [3], který se zaměřil na bodové odporové svařování žárově pohlínkovaných plechů v souvislosti s hodnocením životnosti elektrod. Bakalářská práce navazuje na tyto poznatky s využitím moderních metod elektronických monitorovacích systémů s cílem navrhnout způsob zpracování a analýzy získaných dat z monitorovacího systému.



## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE

Pro provádění životnosti elektrod u bodového svařování bylo použito mobilní pracoviště, kterým disponuje Technická Univerzita v Liberci (Obr. 16).



*Obr. 16: Mobilní měřicí pracoviště*

## 5. VYBAVENÍ SVAŘOVACÍHO PRACOVISTĚ

Svařovací pracoviště je vybaveno pneumatickou odporovou svářečkou **WBLP40** (Obr. 17), která je využitelná jako:

- Bodová svářečka s plynule měnitelným vyložení ramen od 250 do 450 mm při rozevření ramen od 100 do 340 mm s plynulým přestavením dolního ramena. Ovládání spuštění stroje probíhá pomocí šlapacího spínače.
- Svařovací lis při upnutí svařovacího přípravku. Spuštění stroje probíhá pomocí dvou ručních spínačů, které zabraňují úrazu při pracovním pohybu stroje.

*Obr. 17: Pneumatická odporová svářečka WBLP40**Obr. 18: Elektrody odporové svářečky*

Pro snímání a vyhodnocení dat byl použit osciloskop **M524** (Obr. 19), který je připojitelný k PC pomocí USB konektoru. Součástí základního balíku osciloskopu je i programové vybavení, které umožňuje jeho ovládání přes PC. Náhled programu v příloze č. 2.

*Obr. 19: Osciloskop M524*

Další přístroj na pracovišti byl použit Multifunkční měřič **Miyachi MM-356B** (Obr. 20), který slouží k určení svařovacího proudu, svařovacího napětí, svařovací síly a svařovacího času. Potřebné výsledky mohou být okamžitě vytištěny integrovanou tiskárnou ve spodní části přístroje, popřípadě pomocí speciálního převodníku a přes standardní sériové rozhraní exportovány do připojeného PC.

Nevýhodou tohoto přístroje je špatně viditelné vykreslení průběhů svařovacího napětí a proudu. Displej (Obr. 21) je vyroben z tekutých krystalů a jeho jemnost byla pro další zpracování dat nevyhovující.



**Obr. 20:** Multifunkční měřič Miyachi MM-356B



**Obr. 21:** Displej měřiče MM – 356B

Posledním přístrojem mobilního pracoviště byl použit notebook značky HP, který disponuje všemi potřebnými konektory, systémem Windows XP i programem pro importování naměřených veličin a následně jejich vyobrazení na monitoru.

## 5. 1. Použitý materiál a příprava

Pro svařování byl zvolen fosfátovaný plech **EN 10152 – DC05 + ZE 50/50 – B – PO**

EN 10152 – Evropská norma: Ocelové ploché výrobky válcované za studena elektrolyticky pozinkované pro tváření za studena

DC05 – hlubokotažnost plechu

ZE – zinek elektrolyticky nanášený

50/50 – udávané množství zinku v  $\text{g/m}^2$

B – jakost povrchu

P – fosfátovaný plech

O – olejovaný

Plech byl nastříhán na vzorky se třemi druhy rozměrů:

1. Rozměr pro odlupovací zkoušku: 125 x 45 mm
2. Rozměr pro zkoušku stříhem: 175 x 45 mm
3. Rozměr pro svařování zkušebního plechu: 470 x 350 mm.

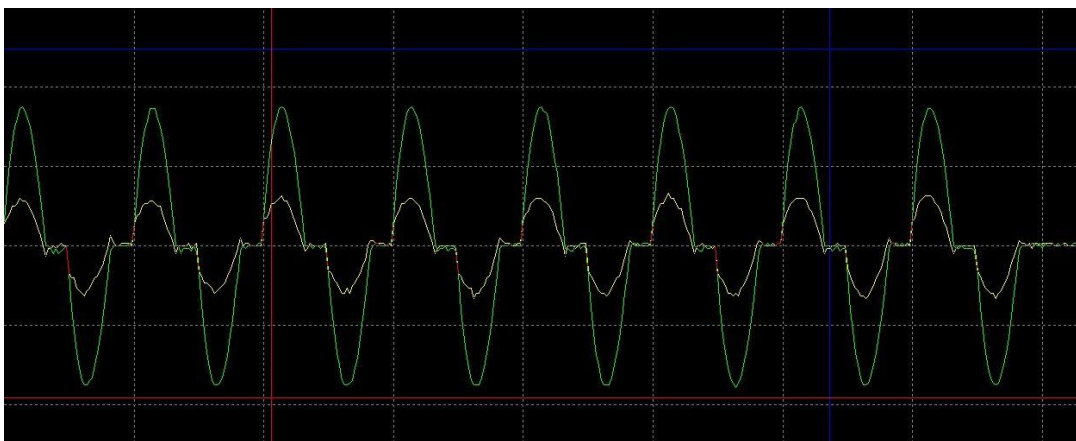
## 5. 2. Průběh experimentu

Experimentální část byla zaměřena na životnost elektrod bodového svařování. Na začátku bylo důležité zvolení vhodného materiálu pro svařování a s tím spojený vhodný typ

elektrod. Bylo provedeno 400 svarů, kdy po stanovených intervalech byly měněny vzorky pro zkoušku odlupovací, zkoušku stříhem a zkušebním plechem.

### 5.3. Záznam a vyhodnocení dat

Celkový počet provedených bodových svarů byl 400. Po čtyřech zhotovených svarech na přepřátovaných pásech dvou plechů s rozměry 125 x 45 mm se na elektrody odporové svářečky upevnil přípravek, který umožňuje svařovat plechy normalizovaných rozměrů pro stříhovou zkoušku [25]. Následuje skupina svarů, která je určena k dalšímu měření. U této skupiny svarů byla provedena opět kontrola svaru pomocí odlupovací zkoušky (příloha 4). Dále následovala skupina svarů pomocí zkoušky stříhem (příloha 5). Průběh proudu a napětí byl zaznamenán osciloskopem na monitoru (obr. 22), hodnoty vyexportované do datového souboru txt (obr. 23) a vytvořen screen průběhu. Následně byly odečteny hodnoty proudu z měřicího přístroje Miyachi.



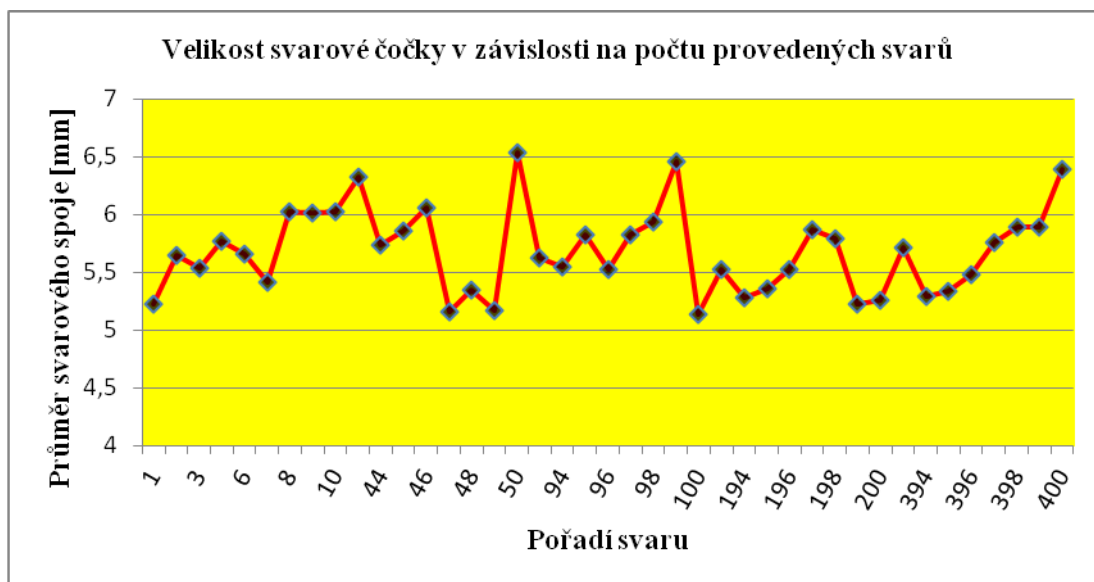
**Obr. 22:** Průběh napětí a proudu (ve skutečnosti indukované napětí), svařovací proud zeleně, napětí mezi elektrodami žlutě.

čas t	Proud I	Napětí U
0	62,5	0
200	437,5	1093,75
400	718,75	1343,75
600	937,5	1593,75
800	1093,75	1187,5
1000	1250	1031,25
1200	1312,5	1000
1400	1468,75	968,75
1600	1437,5	875
1800	1343,75	843,75
2000	1281,25	687,5
2200	1218,75	656,25
2400	1000	500
2600	875	375
2800	656,25	250
3000	406,25	93,75
3200	125	-125
3400	0	-156,25
3600	-31,25	-125
3800	0	-93,75
4000	0	-125
4200	-31,25	-62,5
4400	0	-93,75
4600	0	-93,75
4800	0	-62,5
5000	0	-62,5
5200	-437,5	-343,75
5400	-875	-500
5600	-1125	-656,25
5800	-1375	-750
6000	-1500	-843,75
6200	-1625	-906,25

**Obr. 23:** Exportovaná data v souboru TXT

Opět pokračuje série svarů, pomocí které docílíme pozorované opotřebení elektrody a s ním spojené zhoršení kvality bodového svaru [10]. Zkouška životnosti elektrod byla uzpůsobena pro naše účely.

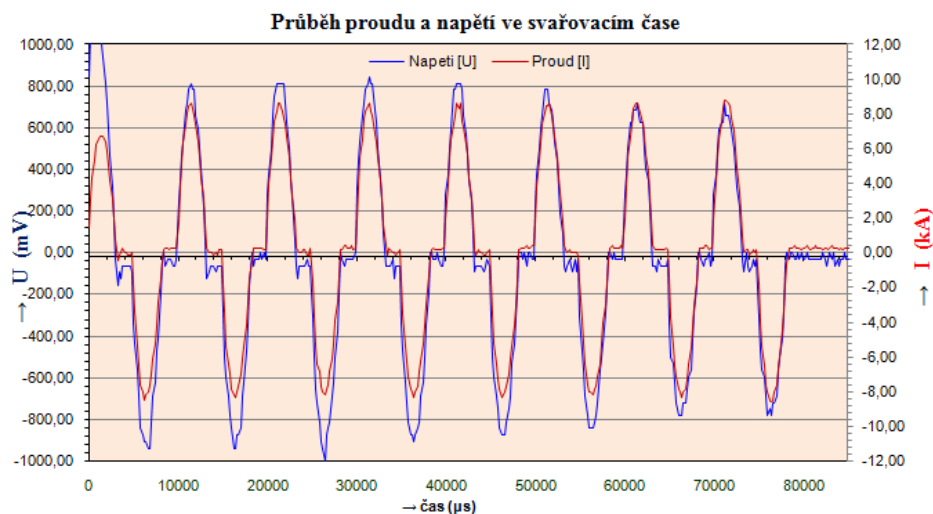
V grafu na obrázku č. 24 je znázorněn průměr svarové čocky v závislosti na počtu provedených bodových svarů. Lze z něj rozeznat, že průběh má střídavou tendenci a od svaru č. 200 se průměr svarové čocky zvětšuje.



**Obr. 24:** Průběh velikosti svarové čocky u měřených svarů

Výsledky uvedené v grafu na obr. 24 ukazují, že v průběhu celého experimentu se rozměry svarové čocky pohybují cca v rozmezí 5 až 6,5 mm a všechny svary jsou z hlediska velikosti vyhovující. Nebylo tak dosaženo konce životnosti elektrod. Zkouška byla přerušena z důvodu nedostatku základního materiálu.

Při každém měřeném bodovém svaru byl zaznamenán průběh svařovacího proudu a napětí. Obrázek č. 25 zobrazuje průběh pro bodový svar číslo 10.



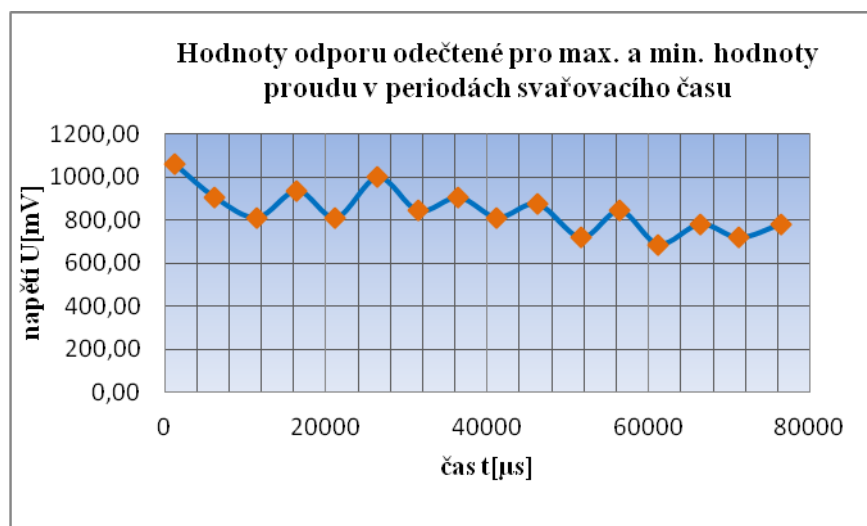
**Obr. 25:** Graf s průběhem napětí a proudu pro svar č. 10



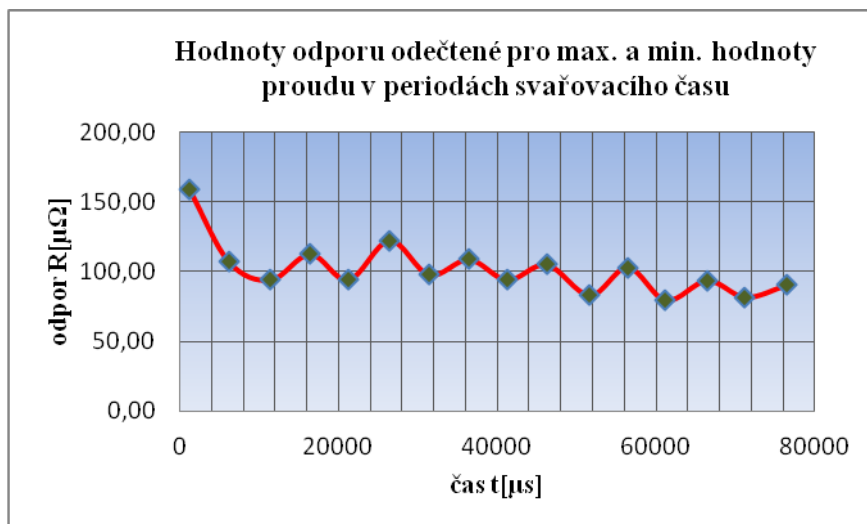
Výstupem z programu v Excelu je jak tabulka hodnot (tab. 7), tak i grafické vyhodnocení průběhu dynamického odporu, napětí a proudu (obr. 26, 27, 28), kde je vyhodnocen svar č. 10. Dále je výstup posledního svaru č. 400 (tab. 8), (obr. 29, 30, 31) pro srovnání.

**Tab. 7:** Maximální hodnoty dynamického proudu s časem a k němu odečtené příslušné hodnoty napětí s dpočítaným odporem (svar č. 10).

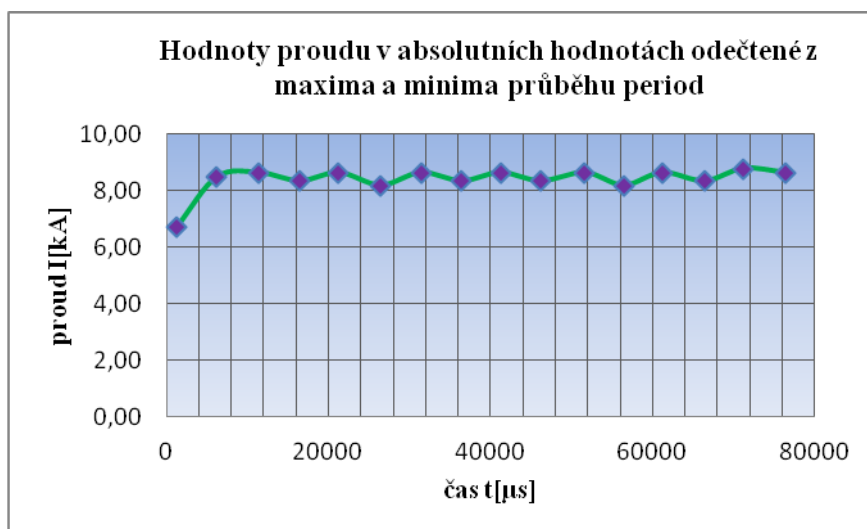
Čas t [ms]	Napětí U [mV]	Proud I [kA]	Odpor R [ $\mu\Omega$ ]
1200	1062,5	6,7	159
6200	906,2	8,5	107
11400	812,5	8,6	94
16400	937,5	8,3	112
21200	812,5	8,6	94
26400	1000,0	8,2	122
31400	843,8	8,6	98
36400	906,3	8,3	109
41200	812,5	8,6	94
46200	875,0	8,3	105
51600	718,8	8,6	83
56400	843,8	8,2	103
61200	687,5	8,6	80
66400	781,3	8,3	94
71200	718,8	8,8	82
76400	781,3	8,6	91



**Obr. 26:** Grafické vyhodnocení časové závislosti hodnot dynamického elektrického odporu (svar č. 10)



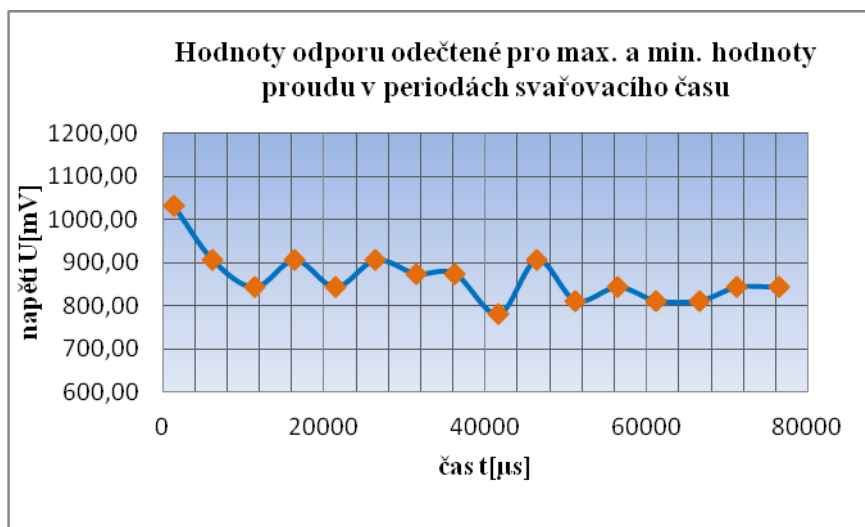
**Obr. 27:** Grafické vyhodnocení časové závislosti hodnot dynamického napětí (svar č. 10)



**Obr. 28:** Grafické vyhodnocení časové závislosti hodnot dynamického proudu (svar č. 10)

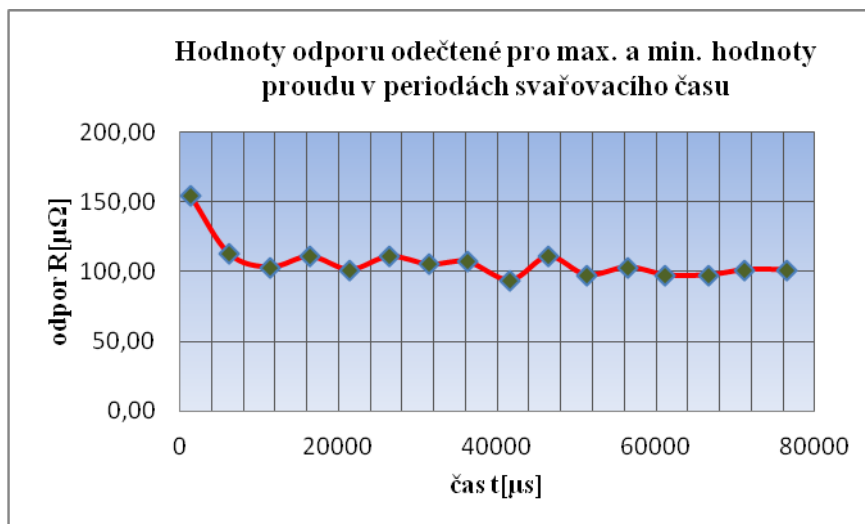
**Tab. 8:** Maximální hodnoty dynamického proudu s časem a k němu odečtené příslušné hodnoty napětí s dopočítaným odporem (svar č. 400).

Čas $t$ [ms]	Napětí $U$ [mV]	Proud $I$ [kA]	Odpor $R$ [ $\mu\Omega$ ]
1400	1031,3	6,7	154
6200	906,3	8,0	113
11400	843,8	8,2	103
16400	906,3	8,2	111
21400	843,8	8,3	101
26400	906,3	8,2	111
31400	875,0	8,3	105
36200	875,0	8,2	107
41600	781,3	8,3	94
46400	906,3	8,1	111
51200	812,5	8,3	98
56400	843,8	8,2	103
61200	812,5	8,3	98
66600	812,5	8,3	98
71200	843,8	8,3	101
76400	843,8	8,3	101

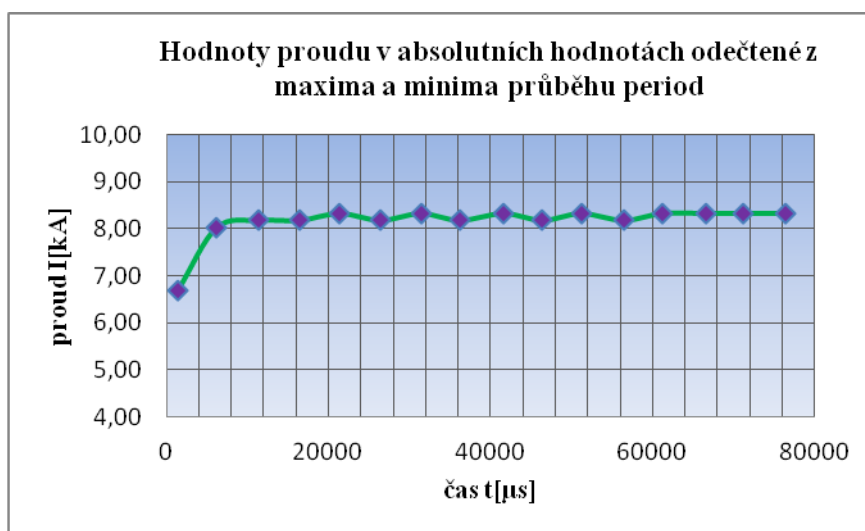


**Obr. 29:** Grafické vyhodnocení časové závislosti hodnot dynamického elektrického odporu (svar č. 400)





**Obr. 30:** Grafické vyhodnocení časové závislosti hodnot dynamického napětí (svar č. 400)



**Obr. 31:** Grafické vyhodnocení časové závislosti hodnot dynamického proudu (svar č. 400)

## 6. VYBAVENÍ PRACOVNÍHO MÍSTA PRO ZKOUŠKY – ODLUPOVACÍ, STŘIHEM

Toto pracoviště je vybaveno modernizovaným zkušebním trhačím strojem **TIRAtest 2300** (Obr. 32) s průtahoměrem MFN-A. Na tomto trhačím stroji byla prováděna jak zkouška odlupovací, tak zkouška stříhem. Díky tomuto trhačím stroji, byly výrazně ulehčeny nejen pracovní postupy zkoušek, ale i jejich vyhodnocení, protože stroj je propojen moderním softwarem LabNET v. 4, který je nainstalován v PC. Na monitoru bylo možné vyhodnotit veškeré výsledky i průběh zkoušky pomocí TXT souboru nebo grafického znázornění pomocí protokolů viz (příloha 2, příloha 3).



*Obr. 32: Zkušební trhací stroj TIRAtest 2300*

## 7. ZÁVĚR

V rámci diplomové práce jsem realizoval upravenou zkoušku životnosti elektrod s cílem posoudit souvislosti mezi časovými průběhy elektrických veličin a výslednou kvalitou svaru vyjádřenou především rozměrem svarové čočky. Získané podklady dosud nedávají jednoznačnou odpověď na otázku, do jaké míry bude možné takové souvislosti stanovit.

V průběhu realizované zkoušky životnosti elektrod byly stanoveny časové průběhy elektrických veličin pro vybrané svarové spoje vždy po zhotovení předepsaného počtu svarů, které nebyly hodnoceny. Získané podklady mohou sloužit pro další hlubší analýzu změn, které v průběhu svařování nastávají vlivem postupně rostoucího opotřebení elektrod. S ohledem na malou tloušťku povlaku jsou však tyto změny pozvolné a tak i po zhotovení 400 bodových svarů nebylo dosaženo konce životnosti elektrod.

## 8. POUŽITÁ LITERATURA

- 1) BERNASOVÁ E. A kol.: Svařování. Praha: SNTL 1989
- 2) PACÁK, J.: Bodové odporové svařování vysokopevnostních plechů v automobilovém průmyslu. [Diplomová práce], Fakulta strojní TUL.
- 3) NEUMANN, H.: Sledování a řízení svařovacího procesu při bodovém odporovém svařování žárově pohlínkovaných ocelových plechů [Disertační práce]. Liberec 1990, Fakulta strojní VŠST.
- 4) Schinkmann s.r.o.[cit. 19. November 2010]. Dostupné z WWW: [www.schinkmann.cz/odporove-svarovani?popup=0](http://www.schinkmann.cz/odporove-svarovani?popup=0)
- 5) ČSN EN ISO 4063. Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování. Praha: Český normalizační institut, 2001. 20 s.
- 6) Kuncipál, J. a kol.: Teorie svařování. Praha: SNTL, 1986.
- 7) JORDÁN, S.: Monitorování základních elektrických veličin u vybraných metod odporového svařování. [Diplomová práce]. Liberec 2008
- 8) Hadyna - International, Ostrava. Ing. Martin Janota, Weldconsult, spol. s r. o. [cit. 19. November 2010]. Dostupné z WWW: [www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2008-2\\_Odporove-svarovani.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2008-2_Odporove-svarovani.pdf)
- 9) PLÍVA L., Odporové svařování. Praha, SNTL 1975
- 10) ČSN EN ISO 8166. Odporové svařování - způsob hodnocení životnosti bodových elektrod při konstantním nastavení stroje. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- 11) HONZÍK E. A kol.: Odporové svařování. Sborník výtahů z referátů výzkumníků a praktiků. 1 vydání Praha, SNTL, 1955
- 12) NSRW [cit. 20. November 2010]. Dostupné z WWW: <http://www.spot-welding.com/electrodes.htm>
- 13) PLÍVA L., Odporové svařování v praxi. Praha, SNTL 1963
- 14) VÚZ, Kolektiv autorov.: Zváracie metódy a zariadenia. II. diel učebných textov pre kurzy zvaračských technológov. Ostrava. ZEROSS, 2000
- 15) ČSN EN ISO 14373 Odporové svařování – Postup pro bodové svařování nepovlakovaných a povlakovaných uhlíkových ocelí
- 16) SWANTEC [cit. 20. December 2010]. Dostupné z WWW: <http://www.swantec.com/parameters-in-resistance-welding.php>

- 17) ČVUT, Teoretický úvod k cvičení z předmětu Technologie I: Hodnocení kvality svarového spoje. [cit. 1 February 2011]. Dostupné z WWW:  
[http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def\\_kontrola\\_sv.pdf](http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def_kontrola_sv.pdf)
- 18) ČSN EN 970. Nedestruktivní zkoušení tavných svarů - Vizuální kontrola. Praha: Český normalizační institut, 1998. 16 str.
- 19) ČSN EN 1290. Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou. Praha: Český normalizační institut, 2000. 16 str.
- 20) ČSN EN 1291. Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou - Stupně přípustnosti. Praha: Český normalizační institut, 2000. 8 str.
- 21) ČSN EN 1714. Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarových spojů ultrazvukem. Praha: Český normalizační institut, 1999. 32 str.
- 22) ČSN EN 1712. Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarových spojů ultrazvukem - Stupně přípustnosti. Praha: Český normalizační institut, 1999. 16 str.
- 23) ČSN EN 1435. Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení svarových spojů. Praha: Český normalizační institut, 1999. 36 str.
- 24) ČSN EN ISO 17653. Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkouška krutem odporových bodových svarů. Praha: Český normalizační institut, 2004. 12 str.
- 25) ČSN EN ISO 14273. Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Praha: Český normalizační institut, 2003. 16 str.
- 26) ČSN EN ISO 14270. Rozměry vzorku a postup pro mechanizované odlupovací zkoušení odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Praha: Český normalizační institut, 2003. 16 str.
- 27) ČSN EN ISO 14329. Odporové svařování - Destruktivní zkoušky svarů - Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Praha: Český normalizační institut, 2004. 16 str.
- 28) ČSN EN ISO 15609-5. Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Specifikace postupu svařování - Část 5: Odporové svařování. Praha: Český normalizační institut, 2005. 20 str.
- 29) ČSN EN ISO 15614-12. Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování - Část 12: Bodové, švové a výstupkové svařování. Praha: Český normalizační institut, 2005. 16 str.
- 30) ČSN 05 0003. Zváranie. Odporové zváranie. Základné pojmy. Československá štátna norma. 1992. 96 str.



## **Seznam příloh:**

Příloha č. 1: Obrazovka k programu Osciloskop M524

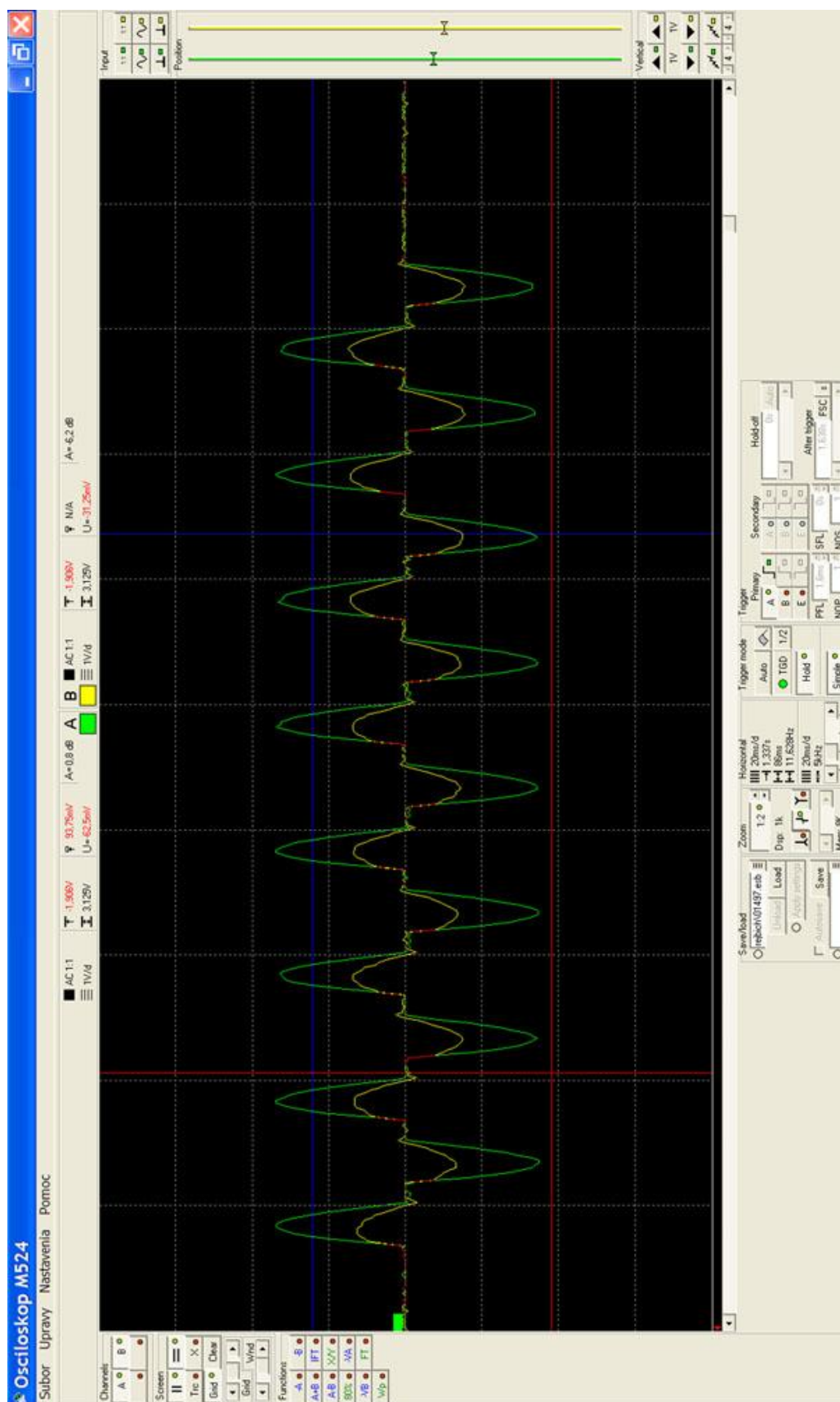
Příloha č. 2: Protokol pro odlupovací zkoušku vzorek č. 10

Příloha č. 3: Protokol pro zkoušku stříhem vzorek č. 400

Příloha č. 4: Odlupovací zkouška

Příloha č. 5: Zkouška stříhem

Příloha č. 1: Obrázovka k programu Osciloskop M524



## Příloha č. 2: Protokol pro odlupovací zkoušku vzorek č. 10

## ODLUPOVACÍ ZKOUŠKA BODOVÝCH SVARŮ DLE EN ISO 14270

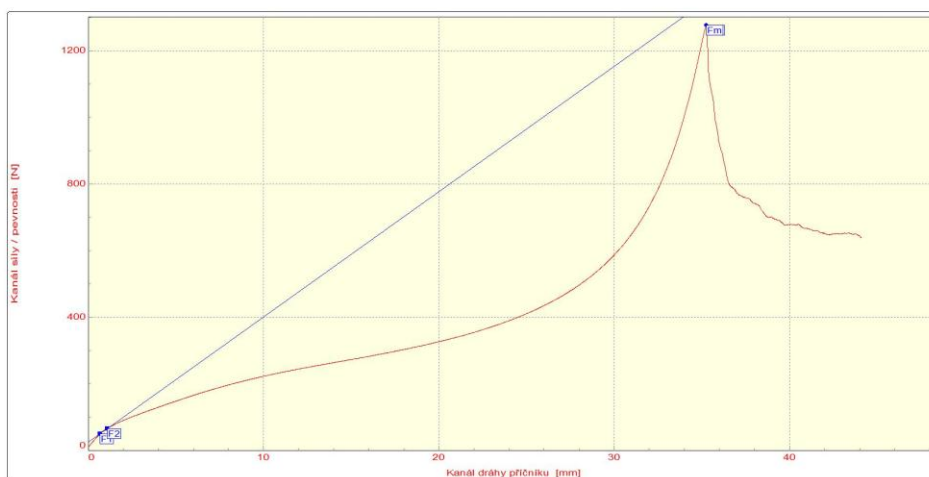
## VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : EN 10 152 DC05 + ZE 50/50 - B - PO  
Metoda svařování : Odporové bodové svařování  
Svařovací podmínky : Proud (kA), Napětí (V), Čas (t)  
Rozměr vzorku: : 125 x 45 mm  
Rychlost zatěžování: : 30 mm/min  
Vypracoval: : Martin Franc  
Datum zkoušky: : 4.5.2011

## VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F <sub>m</sub> N	R <sub>p0.2</sub> MPa	R <sub>m</sub> MPa
48	1277.13	-----	1277.13

Typ porušení : Vytřhnutí svarové čochy z materiálu



## TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

## Příloha č. 3: Protokol pro zkoušku stříhem vzorek č. 400

## ZKOUŠKA STŘIHEM BODOVÝCH SVARŮ DLE EN ISO 14273

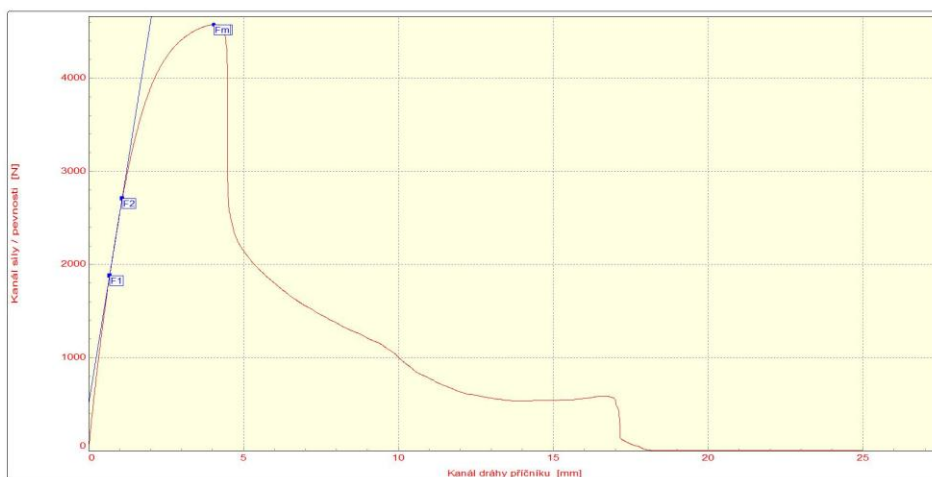
## VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : EN 10 152 DC05 + ZE 50/50 - B - PO  
Metoda svařování : Odporové bodové svařování  
Svařovací podmínky : Proud (kA), Napětí (V), Čas (t)  
Rozměr vzorku: : 175 x 45 mm  
Rychlost zatěžování: : 30 mm/min  
Vypracoval: : Martin Franc  
Datum zkoušky: : 4.5.2011

## VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F <sub>m</sub> N	R <sub>p0.2</sub> MPa	R <sub>m</sub> MPa
80	4573.00	-----	4573.00

Typ porušení : Vytrhnutí svarové čocky z materiálu



## TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>



**Příloha č. 4:** Odlupovací zkouška vzorek č. 1



**Příloha č. 5:** Zkouška stříhem vzorek č. 400





### Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon  
č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských  
práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom  
povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode  
mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich  
skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě  
konzultací s vedoucím diplomové práce.

Datum: 26. května 2011

Podpis: .....



### Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis.

Date: 26. May 2011

Signature: .....